1970
Verlag Schnelle, Eberhard und Wolfgang Schnelle GmbH, Quickborn

Druck und Einband: Maurischat & Bevensee, Quickborn
Printed in Germany

GRUNDLAGENSTUDIEN

AUS

KYBERNETIK

UND GEISTESWISSENSCHAFT

BAND 11
HEFT 2

JUNI
1970

KURZTITEL
GrKG 11/2

INHALT

J. NIEDEREICHHOLZ	Zur Operationalität wirtschaftskybernetischer Modelle	33
PAUL-BERND HEINRICH	Durchführung von Rateversuchen mit Hilfe eines Rechners	45
HERMANN P. POMM	Informationspsychologische Aspekte der Rechtschreibung	57
HORST RICHTER	Einige Aspekte zukünftiger Fernsehlehrautomatensysteme	67

VERLAG SCHNELLE QUICKBORN

Neuerdings vollzieht sich eine immer stärker werdende Annäherung zwischen Natur- und Geisteswissenschaft als Auswirkung methodologischer Bestrebungen, für die sich das Wort Kybernetik eingebürgert hat. Die Einführung statistischer und speziell informationstheoretischer Begriffe in die Ästhetik, die invariantentheoretische Behandlung des Gestaltbegriffs und die Tendenzen, zwischen der Informationsverarbeitung in Maschine und Nervensystem Isomorphismen nachzuweisen, sind nur drei Symptome dafür.
Die Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft sollen der raschen Publikation neuer Resultate dienen, welche diese Entwicklung zu fördern geeignet sind. Veröffentlicht werden vor allem grundlegende Ergebnisse, sowohl mathematischer, psychologischer, physiologischer und in Einzelfällen physikalischer als auch philosophischer und geisteswissenschaftlicher Art. Nur in Ausnahmefällen werden dagegen Beiträge über komplexere Fragen der Nachrichtentechnik, über Schaltungen von sehr spezieller Bedeutung, über Kunst und literaturgeschichtliche Probleme etc. angenommen. In geringer Zahl werden Buchbesprechungen veröffentlicht.

Erscheinungsweise: Viermal im Jahr mit je 32 bis 48 Seiten.
Beiheft: Im Jahr erscheint für Abonnenten ein Beiheft.
***Preis:** DM 4,80 je Heft und Beiheft.*
Im Abonnement Zustellung und Jahreseinbanddeckel kostenlos. Bezug: durch Buchhandel oder Verlag.
Manuskriptsendungen: an Schriftleitung gemäß unserer Richtlinien auf der dritten Umschlagseite.

Schriftleiter

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
1 Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Geschäftsführende Schriftleiterin

Brigitte Frank-Böhringer
1 Berlin 33
Altensteinstr. 39

Les sciences naturelles et les sciences humaines se rapprochent de plus en plus; ce rapprochement est une conséquence des tendances métodologiques appelées cybernetique. L'introduction en esthétique de termes statistiques et surtout de termes de la théorie de l'information, le fait de considérer mathématiquement la notion de Gestalt comme une invariante, et les tendances à chercher des isomorphismes entre la transformation de l'information par les machines et par le système nerveux sont seulement trois exemples du dit rapprochement.
Les «Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft» ont pour but de publier rapidement des résultats nouveaux capables de contribuer à ce dévéloppement. Surtout des résultats fondamentaux (soit de caractère mathématique, psychologique, physiologique et quelquefois physique — soit de caractère philosophique ou appartenant aux sciences humaines) sont publiés. Par contre des travaux concernant soit des questions assez complexes de la théorie de communication et télécommunication, soit des reseaux éléctriques ayant des buts trop spéciaux, soit des problèmes de l'histoire de l'art et de la litérature etc. ne sont acceptés qu'exceptionnellement aussi que les comptes rendus de nouveaux livres.

Il paraissent 4 numéros de 32 à 48 pages par an et un numéro spécial, pour les abonnés. Prix: DM 4.80 le numéro (et le numéro spezial) L'envoi et la couverture du tome complèt (à la fin de chaque année) est gratis pour les abonnés.
Les G KG sont vendus en librairie ou envoyés par les Editeurs Schnelle
Les manuscrits doivent être envoyés au rédacteur en chef. Quant à la forme voir les remarques à la page 3 de cette couverture.

Rédacteur en chef

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
1 Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Rédacteur gérant

Brigitte Frank-Böhringer
1 Berlin 33
Altensteinstr. 39

Natural and cultural sciences are in train to come together closer and closer as a consequence of methodologicatendencies called cybernetics. The introduction of terms of statistics and specially of information theory into the terminology of esthetics, the interpretation of 'Gestalten' as mathematical invariants, and the search for isomorphisms by comparing information handling in computers and the brain are only three symptoms of the process mentioned above.
The Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft would like to cultivate this tendencies by rapid publication of new results related to cybernetics, especially results of basic interest, no matter whether belonging to the field of mathematics, psychology, physiology and sometimes even of physics, or rather to the fields of philosophy and cultural sciences. But papers which concern complex technical problems of transmission and processing of information, or electrical networks with very limited purpose, or the history of art and literature, are accepted only exceptionally. There will also be few recensions of books.

G KG are published in 4 numbers each year, with 32–48 pages per number. A special number is edited each year for the subscribers.
Price: DM 4.80 per number (and spezical number) Mailing and cover of the volume (to be delivered together with the last number each year) is free for subscribers. The G KG may be received by booksellers or directly by the publisher.

Papers should be sent to the editors. For the form of manuscript see page 3 of this cover.

Editor

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
1 Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Managing Editor

Brigitte Frank-Böhringer
1 Berlin 33
Altensteinstr. 39

ZUR OPERATIONALITÄT WIRTSCHAFTSKYBERNETISCHER MODELLE

von J. Niedereichholz, Karlsruhe

0 Einführung

In den letzten Jahren beschäftigten sich immer mehr Arbeiten mit kybernetischen oder - konventionell ausgedrückt - regelungstechnischen Aspekten des Wirtschaftslebens. In diesem Zusammenhang wurde der Begriff "Wirtschaftskybernetik" geprägt, um Untersuchungen, die regelungstechnische und kontrolltheoretische Methoden zur Konstruktion dynamischer Wirtschaftsmodelle benutzen, zu kennzeichnen. Der Begriff ist weniger als neuartige Disziplin zu verstehen, sondern ganz im Sinne der allgemeinen Kybernetik, als besondere Methodik, die die Instrumente verschiedener Nachbardisziplinen verwendet, um auf anschauliche Art und Weise Interdependenzen und Rückwirkungen zu offenbaren.

Die elementaren Begriffe der Regelkreisdarstellung des Betriebes und der Volkswirtschaft gehören heute bereits zum wirtschaftswissenschaftlichen Ausbildungsstoff, ohne daß eigentlich klar ist, welche praktikablen oder operationalen Auswirkungen derartige wirtschaftskybernetische Ansätze haben können. Es bleibt zu klären, ob sie nur didaktisch gut zu verwendende Erklärungen darstellen, eventuell Umdeutungen bereits vorhandener, etablierter Modellvorstellungen.

Unter diesem Vorzeichen soll im folgenden eine ordnende Übersicht gegeben werden, die im Sinne einer Gesamtschau die mathematisch perfektionistische Darstellungsweise nicht zu weit treiben kann und elementare Grundbegriffe kybernetischer Art als bekannt voraussetzen muß.

1 Das feedback-Konzept zur Optimalwertregelung

Die Wirtschaftswissenschaften können bekanntlich nicht zu den experimentellen Wissenschaften gezählt werden. Dieser grundsätzlichen Tatsache kommt eine Schlüsselstellung zu bei der Unterscheidung des sogenannten feedback-Konzeptes der Optimalwertregelung und des feedforward-Konzeptes der Optimalwertsteuerung. Bei der Optimalwertregelung eines realen Systems werden bei den Eingangsgrößen kleine Probierschritte vorgenommen, um die Veränderungstendenz der Ausgangsgrößen zu ermitteln und nach einer bestimmten Suchstrategie das Optimum des in seiner mathematischen Struktur unbekannten Systems einzustellen. Dieses trial-and-error-Vorgehen kann verschiedene Suchstrategien verwenden, etwa eine Zufallsstrategie mit Einengung, klassische Verfahren auf ceteris

paribus-Basis, die Box-Wilson-Methode des steilsten Anstieges, die Gauß-Seidel-Strategie und Kombinationen der beiden letzten. Nicht alle Strategien führen gleichschnell zum Optimum, es gilt die günstigste auszusuchen. Neben der Notwendigkeit eines derartigen Probierverfahrens sind für eine Optimalwertregelung weiterhin charakteristisch (Mesch, 1964):

a) Die Forderung nach Quantifizierbarkeit und Meßbarkeit der zu optimierenden Größe(n),
b) die Zeitabhängigkeit der Messung und Glättung der Meßergebnisse,
c) die exponentiell zunehmende Anzahl notwendiger Probierschritte bei mehrdimensionalen Problemen.

Die Optimalwertregelung läßt sich aus folgenden Gründen nicht auf reale Wirtschaftssysteme anwenden:

a) Probierschritte im Sinne eines Experimentes können nicht durchgeführt werden. Man kann eben nicht die Beschäftigung oder den Lohnsatz systematisch unter ceteris paribus Bedingungen variieren, die entsprechende Gewinn- und Verlustrechnung abwarten, um so nach vielen Probierschritten das Gewinnmaximum zu ermitteln.
b) Wirtschaftliche Informationssysteme (Kurzfristige Erfolgsrechnungen, Bilanzen, Viertel-, Halb-, Jahresstatistiken, Gesamtrechnungen) geben abgetastete Größen wieder, deren Abtastzeitpunkte oft für eine laufende Kontrolle unzulässig weit auseinander liegen.
c) Lange Verweilzeiten sowie stochastische Schwankungen der Eingangsgrößen erfordern eine Glättung über mehrere Abtastperioden und stehen einer Optimalregelung entgegen.
d) Eine geeignete Suchstrategie wäre kaum zu finden, da sehr viele, oftmals gar nicht bekannte und erfaßbare Größen einwirken und systematisch variiert werden müßten.

Wir müssen uns deshalb der Methode der Optimalwertsteuerung zuwenden.

2 Das feed forward-Konzept zur Optimalwertsteuerung

Dieses Prinzip wird bei technischen Systemen mit langer Verweilzeit der Eingangsgrößen mit Prozeßrechnern und der DDC-Technik (Direct Digital Control) verwirklicht. Dem Prozeßrechner wird ein, das reale technische System getreu wiedergebendes mathematisches Regressionsmodell eingegeben, das für technische Systeme meist ohne größere statistische Schwierigkeiten aufzustellen ist.

Das Optimum kann in Abhängigkeit von den Eingangsvariablen mit den bekannten Verfahren der mathematischen Optimierung (Lineare Optimierung, Nichtlineare Optimierung, Dynamische Optimierung, Pontryaginsches Maximum-Prinzip) ermittelt werden und laufend gemäß den Abtastsignalen der Eingangsgrößen neu bestimmt werden. Die notwendige Veränderung der Steuergrößen wird ebenfalls berechnet und veranlaßt. Eine Rückmeldung des Ergebnisses, d. h. der erstrebten Veränderung der Ausgangsgrößen erfolgt nicht, hierfür muß die Genauigkeit des mathematischen Modells bürgen. Im folgenden wollen wir uns bei der Anwendung dieses Konzepts auf wirtschaftliche Systeme nur noch mit den Modellen der Optimalwertsteuerung beschäftigen. Hierbei können die folgenden grundsätzlichen Feststellungen getroffen werden:

1) Wir befinden uns auf dem steinigen Weg der Erstellung mathematischer Wirtschaftsmodelle, der mit wirtschaftskybernetischen Überlegungen dieselben Schwierigkeiten aufweist, wie ohne diese, und grundsätzlich keine besseren Ergebnisse bringen kann.

2) Die Abtastzeitpunkte, d. h. die Zeitpunkte der Erfassung wirtschaftlicher Daten zur Erstellung von Statistiken, liegen bei wirtschaftlichen Systemen weit auseinander, bei makroökonomischen Systemen meist ein ganzes oder halbes Jahr. Die Verarbeitung der Urdaten zu aussagefähigen Statistiken erfolgt mit einer erheblichen Totzeit, so daß Steuerungen, auch bei perfekten Modellen, die nach einer weiteren Totzeit erst eingesetzt werden, oft ausgesprochen prozyklisch wirken.

Gleichgültig, ob bei einem Modell kybernetische Aspekte vorrangig sind oder nicht, müssen bei seiner Aufstellung die üblichen Phasen der Aufstellung ökonometrischer Modelle durchlaufen werden:

a) Die Aufstellung des Gleichungssystems
b) die Datensammlung
c) die Hypothesenprüfung
d) die Ermittlung einer geeigneten Schätzmethode
e) die Parameterschätznng
f) die Genauigkeitsanalyse der Schätzung

Die Besonderheit der meisten wirtschaftskybernetischen Modelle liegt darin, daß sie Modelle mit dynamischen Beziehungen höherer Ordnung darstellen, also entweder Differentialgleichungssysteme oder Differenzengleichungssysteme oder gemischte Differential-Differenzen-Gleichungssysteme höherer Ordnung.

Um die Frage nach den Vorteilen derartiger Modelle zu beantworten, müssen parallel die wesentlichen Merkmale erarbeitet werden:

1) Als Hauptmerkmal ist die anschauliche Darstellungsmöglichkeit eines dynamischen Regelungsmodelles mit einem Blockschaltbild oder Signalflußgraph zu nennen. Um dies zu verdeutlichen muß in Erinnerung gerufen werden, daß die elementaren Bausteine der Blockschaltbildtechnik die Proportional-, Differential-, Integral- und Totzeitglieder sind (Bild 1.1), deren Antwort auf den Einheitssprung in den Blöcken dargestellt wird. Die einfache gemischte Differential-Differenzengleichung

$$\dot{x}(t) = a\,(c - b)\,x\,(t - T_t) + ay_0 \qquad (1)$$

kann beispielsweise nach. Bild 1.2 durch ein Blockschaltbild dargestellt werden. Sie gibt die klassische Dynamik Ricardos als Regelkreis wieder, wobei x die Bevölkerung darstellt (Geyer, in Geyer/Oppelt, 1957, S. 22-48). Eine zu (1) äquivalente algebraische Gleichung im Unterbereich erhält man über die Laplace-Transformation von (1)

$$s \cdot X\,(s) = a\,(c - b)\,e^{-T_t s}\,X\,(s) + ay_0 \qquad (2)$$

Mit der Signalflußgraphen-Technik von Mason (1953) oder der Flußgraphentechnik von Coates (1959) kann (2) nach Bild 1.3 dargestellt werden. Die Darstellung und Analyse mit Signalflußgraphen ist im angloamerikanischen Raum weit verbreitet, wo auch bekanntlich die Blockinhalte der regelungstechnischen Darstellung den Pfeilen zugeordnet werden und die an den Verbindungen mit Blockschaltbild notierten Signale den Knoten (Oppelt, 1964).

Die Abbildungen 1.2 und 1.3 können leicht mittels der entsprechenden Äquivalenzbeziehungen zwischen den Blockelementen bzw. den Übertragungsfunktionen des Flußgraphen und den Bauelementen einer Analogrechnerschaltung in eine solche umgewandelt werden (Niedereichholz, 1969). Das zu untersuchende Modell kann dann im Analogrechner simuliert werden und einer ersten Prüfung seines Stabilitätsverhaltens unterzogen werden.

2) Der mit einer derartigen Arbeitsweise vertraute Praktiker erkennt aufgrund der Struktur des Blockschaltbildes und der einzelnen Blöcke sofort, ob ein System eventuell gefährlich instabil werden kann. Er vermag auch aufgrund der Kenntnis gewisser Grundregeln erste Steuerungsmaßnahmen anzugeben, um Instabilitäten zu vermeiden. Eine derartige Grundregel lautet beispielsweise, daß eine Integralstrecke nie mit einem Integral-Regler geregelt werden darf, da der entstehende Regelkreis grundsätzlich instabil ist. Diese Begriffe und Regeln sind

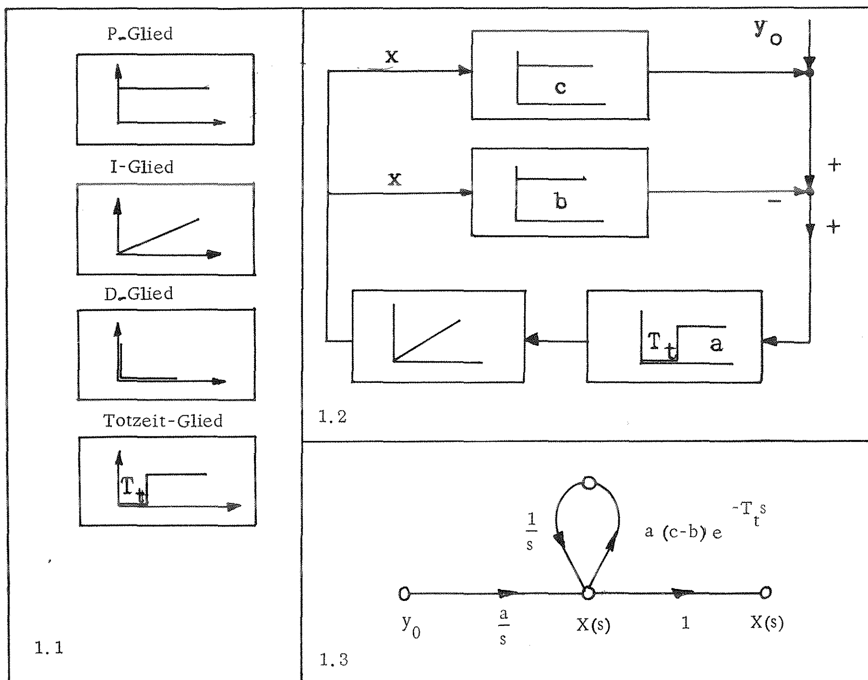


Bild 1

nicht auf technische kybernetische Systeme beschränkt, Integral-Strecken und Integral-Regler, die ihr Verhalten sozusagen rückschauend nach der Gesamtheit aller in der Vergangenheit gegebenen Befehle richten, tauchen auch in wirtschaftskybernetischen Systemen auf.

3) Eine erste überblickartige Beurteilung der Stabilität des untersuchten Systems kann durch die Verwendung numerischer Stabilitätskriterien ergänzt werden. Grundsätzlich ist es sehr wichtig, die Stabilitätsregionen und entsprechenden Parameterkonstellationen des Modells zu kennen, wie dies im zweidimensionalen Bereich von der Beziehung zwischen Akzelerator und Multiplikator im Samuelson- oder Hicks-Modell bekannt ist (Ott, 1963).

Für lineare Systeme stehen viele Kriterien bereit (Nyquist-, Hurwitz-, Routh-, Michailowkriterium etc.), für nichtlineare Systeme sind die Stabilitätsbedingungen schon schwieriger zu erarbeiten (1. und 2. Lyapunov-Methode, Methode von Krylov-Bogolyubov, Beschreibende Funktion u.a.m.) (Hsu, Meyer u.a., 1968), für Abtastsysteme können das Schur-Cohn-Jury-Kriterium, das modifizierte Routh-Kriterium (Tou, 1959) u.a. verwendet werden. In diesem Zusam-

menhang ist interessant, daß die Stabilitätskriterien für wirtschaftskybernetische Abtastsysteme leicht auf Polynome höheren Grades führen, hierfür jedoch auch von der technischen Seite keine fest etablierten numerischen Kriterien zur Verfügung stehen. Es ergeben sich hier Gemeinsamkeiten in der theoretischen Forschungsrichtung, die auf den ersten Blick nicht zu vermuten sind.

3 Realisierte wirtschaftskybernetische Modelle unterschiedlichen Aggregationsgrades

Wirtschaftskybernetische Modelle können für die verschiedensten Ebenen wirtschaftlicher Aktivität vom mikroökonomischen bis zum makroökonomischen Bereich erstellt werden. Bisher wurden hauptsächlich die folgenden Ebenen berücksichtigt:

1) Betriebliche Teilbereiche
2) Gesamtbetrieblicher- bzw. Gesamtunternehmensbereich
3) Volkswirtschaftliche Gesamtmodelle

Für den weltwirtschaftlichen Bereich sind noch keine betont kybernetisch ausgerichteten Modelle bekannt geworden.

3.1 Wirtschaftskybernetische Modelle betrieblicher Teilbereiche

Auf dieser Ebene sind hauptsächlich Lagerhaltungs- und Fertigungssteuerungsmodelle unter kybernetischen oder regelungstechnischen Aspekten behandelt worden (Hamza, 1968, Optiz, 1965), wobei auch die unkonventionelle Bearbeitungsmethode der Flußgraphentechnik Verwendung fand (Howard, Kimball, 1959). Die elementare Ausgangsbasis für Lagerhaltungsmodelle verdeutlicht Bild 2.1. Der Lagerbestand, der durch die Abgänge und Zugänge verändert wird, muß zu bestimmten Abtastzeitpunkten mit dem stochastisch oder deterministisch angenommenen Bedarf verglichen werden. Falls der Sollwert unterschritten wird, muß bestellt werden (Opitz, 1965). Ergebnisse, die in ihrer Tragweite über die der bekannten Operations-Research-Modelle der Lagerhaltung hinausgehen, sind aus den Erweiterungen dieses Ansatzes noch nicht zu verzeichnen gewesen. Alle Modelle der Fertigungskontrolle und -steuerung haben natürlich durch Kontrollmeldungen, Soll-Ist-Vergleiche und entsprechende Steuermaßnahmen bedingt, einen kybernetischen Hintergrund. Man sollte jedoch sorgfältig prüfen, ob bei dem gelegentlichen Auftreten einer Rückkopplung in einem Produktionsmodell hierfür sogleich das Attribut kybernetisch oder wirtschaftskybernetisch herangezogen werden soll. Dies sollte den komplex vermaschten Regelkreismodellen zur simultanen Kapazitätsterminierung, Maschinenbelegung und Projektüberwachung vorbehalten sein. Auch für Probleme der Aufbauorganisation (Blohm, 1967) und

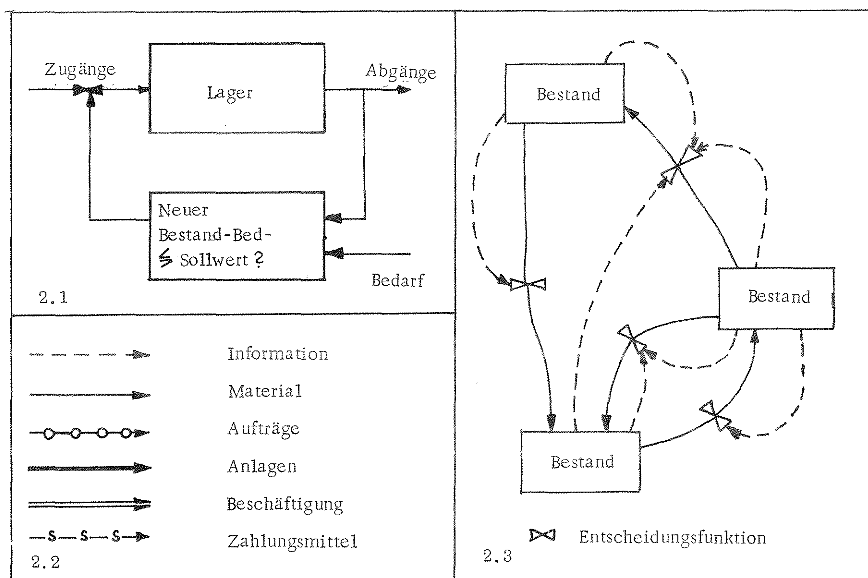


Bild 2

der unternehmerischen Entscheidungsfindung können Modelle unter kybernetischem Vorzeichen erstellt werden, die bisher jedoch alle kein praktikables Niveau erreichten.

3.2 Wirtschaftskybernetische Unternehmensmodelle

Um mittels eines kybernetischen Modells der Gesamtunternehmung Entscheidungsgrundlagen für das Management zu erarbeiten, reicht es natürlich nicht aus, den Produktionsbereich als Strecke, die Unternehmensführung als Regler und das Ganze als betrieblichen Regelkreis zu deklarieren.

Hierzu müssen komplex vermaschte, stochastische Flußgraphen aufgestellt werden, die die wesentlichen Bereichsmerkmale und Interdependenzen der Gesamtunternehmung erfassen (Sussams, 1968). Das einzige derartige Konzept, das die Unternehmung als Informations-Rückkopplungs-System auffaßt und auch tatsächlich anwendbar ist, ist das Konzept der Industrial Dynamics von Forrester (1965). Mit ihm kann ein Simulationsmodell der zu untersuchenden Unternehmung erarbeitet werden, das mit der von Forrester und seinen Mitarbeitern implementierten Simulationssprache DYNAMO durchgerechnet werden kann (Pugh, 1963).

Industrial Dynamics wurde in den letzten Jahren auch stark angegriffen (Ansoff, Slevin, 1968), kann jedoch eine beträchtliche Anzahl erfolgreicher Untersuchungen aufweisen (Bonini, Jaedicke, Wagner, 1964; Sprague, 1963; Wismer, 1967).

Es kennt drei Variablentypen, Bestände (levels), Flußmengen (rates) und Hilfsvariablen (auxiliaries). Sechs verschiedene Flußarten werden unterschieden und entsprechend sechs verschiedene Netze (Bild 2.2). Das Informationsflußnetz, das Materialflußnetz, das Auftragsnetz, das Anlagennetz, das Beschäftigungsnetz und das Zahlungsmittelnetz. Entscheidungen werden als Informationstransformationsprozesse betrachtet, die mit Soll-Ist-Vergleichen der Bestände einhergehen. Industrial Dynamics arbeitet mit nur wenigen standardisierten Elementen, die nach dem Baukastenprinzip zusammengesetzt jedoch jede noch so komplexe Unternehmensstruktur simulieren können (Bild 2.3). Die Methode steht damit der Analogrechentechnik nahe, wird jedoch mittels der Simulationssprache DYNAMO auf dem Digitalrechner verwirklicht.

Eine der bekanntesten Untersuchungen mittels Industrial Dynamics wurde von Forrester bei der Sprague Electric Company vorgenommen, einem Hersteller hochwertiger elektronischer Geräte. Die stark schwankenden Auftragseingänge gestatteten eine Übersicht über die Absatzlage erst durch zehnwöchige Mittelung und verursachten starke Fluktuationen im Fertigungsbereich. Dies erschwerte die Wettbewerbsbedingungen für die Firma, da dieser sich hauptsächlich auf die Lieferfristen und die Produktqualität konzentrierte. Das für das Management interessante Ergebnis offenbarte folgendes:

Die Kunden der Firma richteten sich bei ihrer Auftragserteilung nicht nur nach der eigenen Auftragslage, sondern auch nach ihren Erfahrungen mit den Lieferfristen der Sprague Electric Company. Eine gute Auftragslage der Kunden bewirkte massierte Bestellungen, Lagerabgänge, Produktionsrückstände und Lieferfristverlängerungen. Die Kunden antizipierten die Lieferfristverlängerungen durch übergroße Bestellungen, was die Firma zu Neueinstellungen, Kapazitätserweiterungen und demzufolge Lieferfristverkürzungen veranlaßte. Die Kunden reagierten prozyklisch mit der Einstellung der Vorausbestellungen und Verminderung der Auftragsposten, da sie sich bereits zu sehr eingedeckt hatten. Dies führte bei der Sprague Electric Company als typisch prozyklische Reaktion zu Entlassungen und Produktionsdrosselungen (Müller, 1969). Auch die bisherige Lagerhaltungspolitik wurde als prozyklisch aufgedeckt.

Die Untersuchung bestätigte den Wert der intensiven Berücksichtigung zeitlicher Verzögerungsglieder und starker positiver und negativer Rückkopplungseffekte, die das Stabilitätsverhalten entscheidend beeinflussen.

3.3 Wirtschaftskybernetische Modelle der Gesamtwirtschaft

Die Konstruktion volkswirtschaftlicher Regelungsmodelle geht hauptsächlich auf Tustin (1953), Allen (1956), Goodwin (1951) u.a. zurück. Auch die Kreislauftheoretiker standen dieser Modellkonzeption naturgemäß nahe. In diesem Zusammenhang ist das Lenkungsmodell der Gesamtwirtschaft von Waffenschmidt (1957) und das ziemlich komplexe "Allgemeine Regelungsmodell" von Föhl (1957) zu nennen. Eine gute Übersicht über die existierenden Ansätze auf diesem Gebiet brachte die Essener Tagung der VDI-VDE-Fachgruppe Regelungstechnik 1955, auf die in der Folge auch oft Bezug genommen wurde (Geyer, Oppelt, 1957). Auch die planwirtschaftlichen Theoretiker und Praktiker beschäftigen sich ausgiebig mit kybernetischen Aspekten wirtschaftlicher Planungsmodelle. Neben einfacheren, mehr erklärenden Ansätzen (Stranzky, 1966) existieren hier äußerst komplexe und vielstufige kybernetische Wirtschaftsmodelle, die rein visuell kaum noch zu übersehen sind, und deswegen auch statistisch nicht zu schätzen und unbrauchbar sind (Pluuchin, Nasarowa, 1966).

4 Ausblick

Wir hatten festgestellt, daß auf allen Ebenen wirtschaftlicher Aktivität viele wirtschaftskybernetische Modelle existieren, die jedoch praktisch alle keine wesentlichen Fortschritte in Richtung einer tatsächlichen Anwendbarkeit darstellen. Eine Ausnahme bildet das Konzept der Industrial Dynamics von Forrester. Er soll deshalb auch mit seiner Ansicht zur zukünftigen Forschungsrichtung auf diesem Gebiet zitiert werden (Forrester, 1968):

"... the order of a system is equal to the numer of accumulations. In a managerial system one will increase the order of a system for each bank balance, each pool of machine tools, each group of employees, each information variable which measures average system activity, and each attitude or psychological state necessary to describe the system.

An examination of the feedback literature will show that most of the material deals with first and second-order-systems. A small percent of the literature presses into the region of third and fourth-order systems and beyond. Yet even elementary managerial phenomena usually require a minimum of fifth to twentieth order for adequate representation. Any effort to represent ralistically a comprehensive industrial system may carry one well up toward hundredth order. A ratio of ten or more exists between the solidly established literature and the models needed to exhibit the modes of behavior that dominate industrial and economic systems."

Da Erfolge auf diesem Weg zwar selten aber doch offenbar möglich sind, muß versucht werden, die modernen Methoden der linearen und nichtlinearen Kontrolltheorie optimaler Prozesse und der Ökonometrie in der Anwendung auf zeitvariante, adaptive Systeme zur Erweiterung der vorhandenen praktikablen Ansätze zu verwenden.

Schrifttumsverzeichnis

Allen, R. G. D.	Mathematical Economics, London 1956
Ansoff, H. I. Slevin, D. P.	An Appreciation of Industrial Dynamics, Management Science 14, 1968, 396
Blohm, H.	Kybernetisches Denken aus betriebswirtschaftlicher und betriebstechnischer Sicht, Rationalisierung 18, 1967, 214-216
Coates, C. L.	Flow graph solutions of linear algebraic equations, IRE, CT-6, 170-187 (1959)
Eberl, W.	Stochastische Prozesse in der Regelungstheorie, In: Operations Research Verfahren (Hsg. R. Henn) 2. Band, Meisenheim 1965, 163-173
Föhl, C.	Volkswirtschaftliche Regelkreise höherer Ordnung in Modelldarstellung. In Geyer-Oppelt, S. 49-75
Forrester, J. W.	Industrial Dynamics, M.I.T. Press, 1965
Forrester, J. W.	Industrial Dynamics after the first decade, Management Science 14, 1968
Geyer, H.	Einfache Modelle des volkswirtschaftlichen Prozesses als Regelkreise. In Geyer-Oppelt, S. 22-48
Geyer, H. Oppelt, W.	Volkswirtschaftliche Regelungsvorgänge im Vergleich zu Regelungsvorgängen der Technik, München 1957
Goodwin, R. M.	The Non-linear Accelerator and the Persistence of Business Cycles, Econometrica 19, 1951, 1-17
Hamza, M. H.	Lagerhaltung als Regelungsproblem, Unternehmensforschung 12, 1968, 121-132
Howard, R. A. Kimball, G. E.	Sequential Decision Processes. In: Notes on Operations Research, Operations Research Center, Cambridge 1959

Hsu, J.C. Meyer, A.U.	Modern Control Principles and Applications, N.Y. 1968
Mason, S.J.	Feedback Theory: Some Properties of Signal Flow Graphs, Proc. IRE 41, 1953, 1144-1156
Mesch, F.	Selbsttätige Optimierung in der Betriebswirtschaft, Unternehmensforschung 8, 1964, 203-215
Müller, W.	Die Simulation betriebswirtschaftlicher Informationssysteme, Wiesbaden 1969
Niedereichholz, J.	Grundzüge einer Systemanalyse ökonomischer Modelle mittels Flußgraphen, Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, 1969, 9, 32-47
Opitz, H.	Organisatorische Regelungsprobleme im Industriebetrieb, Unternehmensforschung 9, 1965, 37-54
Oppelt, W.	Kleines Handbuch technischer Regelungsvorgänge, Weinheim 1964
Ott, A.E.	Einführung in die dynamische Wirtschaftstheorie, Göttingen 1963
Pluuchin, B.I. Nasarowa, R.N.	Die gelenkte Kettenreaktion der erweiterten Reproduktion in einsektoralen und zweisektoralen Modellen. In: Nemtschinow, W.S.; Dadajin, W.S.: Mathematische Methoden in der sowjetischen Wirtschaft, München 1966, S. 305-382
Pugh, A.L.	DYNAMO User's Manual, M.I.T. Press 1963
Bonini, C.P. Jaedicke, R.K. Wagner, H.M.	Management Controls. New Directions in Basic Research, N.Y. 1964
Sprague, R.C.	Industrial Dynamics, Case Example. In: Heyel, C. (Hsg.): The Encyclopedia of Management, N.Y. 1963
Stranzky, R.	Kybernetik ökonomischer Reproduktion. Berlin 1966
Sussams, J.E.	Business Systems Analysis - A New Approach, Operations Research Quarterly 19, 1968, 85-90
Tou, J.T.	Digital and Sampled-data Control Systems. N.Y. 1959

Tustin, A.	The mechanism of economic systems. London 1953
Waffenschmidt, W. G.	Wirtschaftsmechanik, Stuttgart 1957
Wismer, D. A.	On the uses of industrial dynamic models, Operations Research 16, 1967, 752-767

Eingegangen am 24. November 1969

Anschrift des Verfassers:
Dr. J. Niedereichholz, 75 Karlsruhe 1, Englerstr. 2. Rechenzentrum der Universität Karlsruhe

DURCHFÜHRUNG VON RATEVERSUCHEN MIT HILFE EINES RECHNERS

von Paul-Bernd Heinrich, Berlin

I. Rateverfahren anhand eines Verzweigungsschemas

Eine der Hauptaufgaben der Informationspsychologie, jener Richtung der Psychologie, die psychologische Prozesse mit Hilfe kybernetischer Begriffe und Modelle beschreibt, ist die Bestimmung des Informationsgehaltes von Zeichenfolgen. Dabei braucht es sich nicht unbedingt um Buchstabenfolgen zu handeln wie bei Texten, sondern es können auch Zahlenfolgen oder zeilenweise aufgelöste bildliche Darstellungen untersucht werden. Als erster hat Shannon eine Möglichkeit beschrieben, mit Hilfe von Rateverfahren die Information von Buchstabenfolgen zu bestimmen (Shannon 1951). Das Rateverfahren läßt sich vereinfachen, wenn man ein auf Dichotomien aufgebautes Verzweigungsschema, wie es in der Kodierungstheorie häufig benutzt wird, als heuristisches Hilfsmittel bei der Vorhersage verwendet (Weltner 1964). Für die Vorhersage von deutschsprachigen Texten hat sich folgendes Verzweigungsschema bewährt:

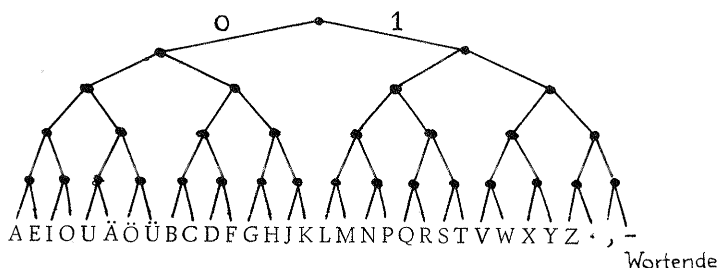


Bild 1: Verzweigungsbaum für 32 Buchstaben und Satzzeichen (Weltner)

Der Vorhersageprozeß mit Hilfe eines Verzweigungsschemas verläuft in der folgenden Weise:

Die Versuchsperson (Vp) sagt zunächst für den ersten Verzweigungspunkt voraus, ob der erwartete Buchstabe in der rechten oder linken Hälfte des Verzweigungsschemas liegt. Der Versuchsleiter (Vl) gibt jetzt an, ob die Vorhersage richtig oder falsch war. Entsprechend wird bei den folgenden Verzweigungspunkten verfahren. Somit kann jedes Zeichen durch 5 digitale Entscheidungen bei sich jeweils halbierender Auswahlmöglichkeit vorhergesagt werden. Aus der Anzahl der falschen und richtigen Vorhersage lassen sich Grenzwerte für die Information berechnen (Weltner, 1970 a).

In Untersuchungen zur genaueren Bestimmung der Information hat sich gezeigt, daß der Mittelwert der ursprünglichen oberen und unteren Grenze die zur Zeit beste Schätzung der Lage der subjektiven Information ist. Die subjektive Information einer Entscheidungsalternative an einem Verzweigungspunkt beträgt damit:

$$H_{sub}(\text{Verzweigung}) = \frac{1}{2}\left[p \; \mathrm{ld}\frac{1}{p} + (1-p)\,\mathrm{ld}\frac{1}{1-p} + 2\,p\right]; \qquad (1)$$

dabei ist $p = \frac{N_F}{N}$ der relative Anteil der falschen digitalen Entscheidungen (Weltner 1970 a).

Da die Vorhersagen sich immer auf sinnvolle Fortsetzungsmöglichkeiten im Kontext beziehen, ist es für die Vp zweckmäßig, den erwarteten Buchstaben direkt zu nennen, der Vl gibt in diesem Falle die bei falscher Vorhersage jeweils noch verbleibende Teilmenge von Zeichen an.

Um für die Rateverfahren eindeutig reproduzierbare Versuchsbedingungen zu gewinnen, wurden Verfahren entwickelt, die empirischen Versuche mit Hilfe einer DV-Anlage vollständig zu objektivieren. Zu diesem Zwecke eignen sich Rechner mit Schreibmaschinen als Ein- und Ausgabeeinheiten. Für die Durchführung der Versuche benutzten wir den Nixdorf-Kleinrechner N 820.

Ein vereinfachtes Flußdiagramm für die Vorhersageversuche mit Hilfe eines Rechners zeigt Bild 2.

Die vom Versuchsleiter eingegebenen Zeichen a_k der vorherzusagenden Zeichenfolge $\{a_k\}$ - diese kann aus Buchstaben oder Zahlen bestehen - kodiert der Rechner so, wie es ihrer Lage im Verzweigungsschema entspricht. Der Rechner vergleicht nun die Kodierung des vorherzusagenden Zeichens a_k mit der Kodierung der jeweils von der Vp über die Schreibmaschine eingegebenen erwarteten Zeichen b_{kj}. Stimmen beide Kodierungen nicht überein, wird ein Fehler registriert und die Stelle im Verzweigungsschema ermittelt, an der die Kodierungen der beiden Zeichen zum ersten Male voneinander abweichen. Damit hat der Rechner die Teilmenge der noch für den nächsten Vorhersageversuch zur Verfügung stehenden Zeichen bestimmt. Dieses Subrepertoire, auf dem weitergeraten wird, druckt der Rechner jeweils in roter Farbe aus. Die Versuchsperson erhält nun solange neue Vorhersageversuche, bis sie nach maximal 5 Versuchen das richtige Zeichen a_k vorhergesagt hat. Dieses Zeichen wird dann ausgedruckt, ebenso die Fehlerzahl. Die Versuchsperson hat nun das nächste Zeichen a_{k+1} der

Zeichenfolge vorherzusagen. Dieser Vorhersageprozeß setzt sich solange fort, bis ein zu definierendes Endzeichen, das dem Rechner das Ende der vorherzusagenden Zeichenfolge signalisiert, erreicht ist.

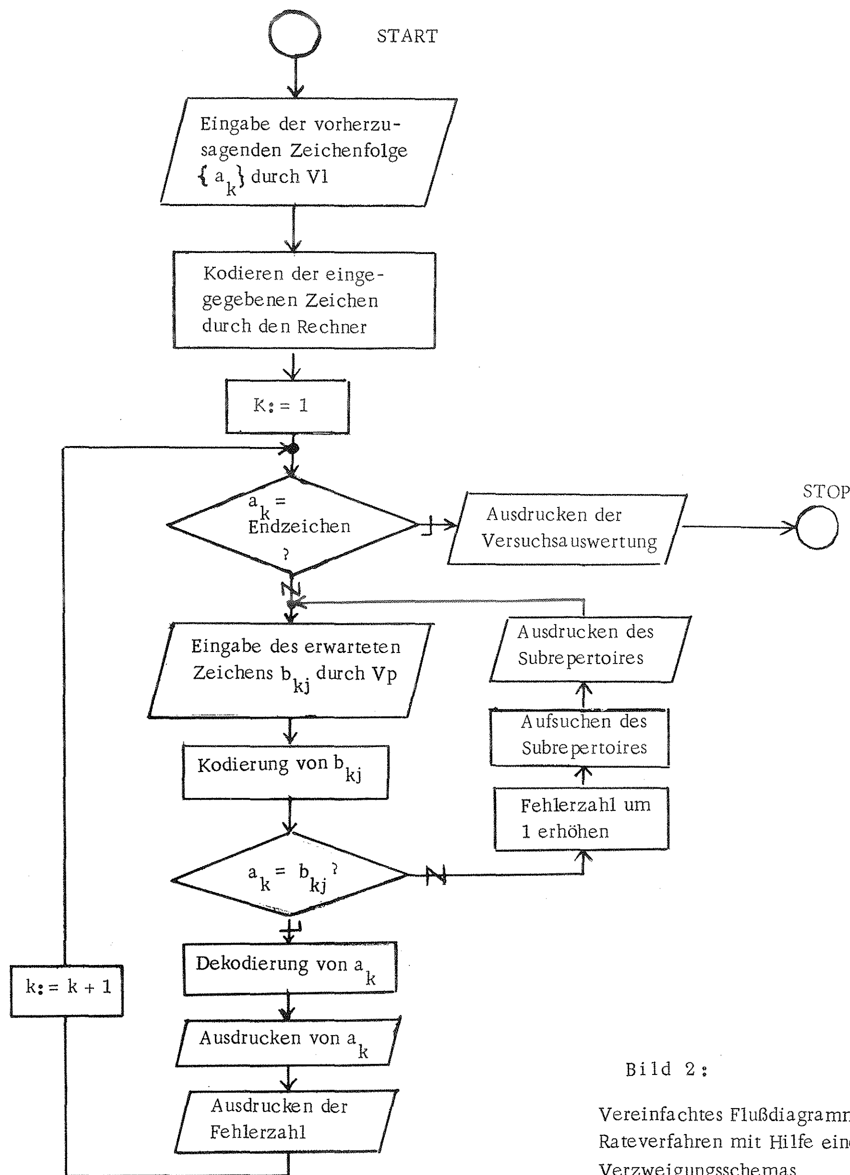


Bild 2:

Vereinfachtes Flußdiagramm Rateverfahren mit Hilfe eines Verzweigungsschemas

II. Kognitive Verlaufsfunktion

Wendet man das Rateverfahren auf Zahlenfolgen an, wie sie häufig bei Intelligenztests vorkommen, so lassen sich kognitive Prozesse studieren (Weltner 1969 a).

Die Vp muß eine solche Zahlenfolge, die einem bestimmten, der Vp jedoch vorher unbekannten Baugesetz gehorcht, vom ersten Gliede an elementweise vorhersagen. Je mehr Glieder der Zahlenfolge die Vp bereits kennt, desto größer wird die Einsicht in deren Aufbau und desto mehr sinkt die subjektive Information der folgenden Zeichen ab.

Bei der Durchführung der Versuche gab die Vp die erwarteten Zahlen der Zahlenfolge nacheinander über die Schreibmaschine in den Rechner. Mehrstellige Zahlen wurden ziffernweise vorhergesagt, die Vorhersage einer Ziffer mittels eines Verzweigungsschemas durchgeführt.

Bild 3 zeigt den Verlauf der subjektiven Information - die kognitive Verlaufsfunktion - bei einer Zahlenfolge, der eine Regel zugrundeliegt, die aus mehreren Teilregeln zusammengesetzt ist. Die Zahlenfolge besteht aus Gruppen von jeweils 8 Zahlen. Die Information der ersten Folgeglieder sinkt schnell ab. Beim neunten Folgenglied steigt die Information wieder steil an, weil hier eine neue Zahlengruppe beginnt. Das entsprechende gilt für das 17. Folgenglied.

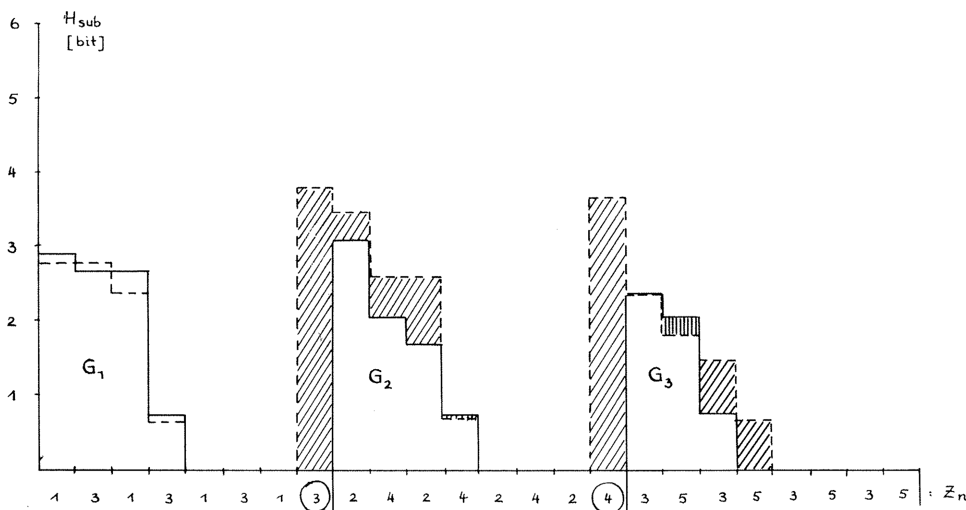


Bild 3: Kognitive Verlaufsfunktion

———— Zahlenfolge Z_n ohne Störstellen

– – – – – Zahlenfolge Z_n mit 2 Störstellen (durch Kreise markiert)

Die Differenz D $(G_1 G_2)$ der Informationswerte I der Zahlengruppen G_1 und G_2 beträgt:

$$D (G_1 G_2) = I (G_1) - I (G_2 | G_1) = 8,95 \text{ bit} - 7,58 \text{ bit} = 1,37 \text{ bit}$$

Dieser Wert ist relativ klein. Das liegt vor allem daran, daß der Informationswert des 1. Gliedes der neuen Zahlengruppe relativ hoch ist, weil die Vp den Fortgang der ersten Regel erwartet.

Für die Differenz D $(G_2 G_3)$ ergibt sich:

$$D (G_2 G_3) = 7,58 \text{ bit} - 5,17 \text{ bit} = 2,41 \text{ bit}$$

Diese Differenz ist größer als D $(G_1 G_2)$, da die neue Teilregel mit den vorhergehenden verwandt ist und daher auch schneller erkannt wird.

Interpretiert man die einzelnen Zahlengruppen als Superzeichen, so läßt sich hier der Informationsabfall verfolgen, der den sukzessiven Aufbau von Superzeichen begleitet.

Baut man in die Zahlenfolge Störstellen ein, d.h. ersetzt man einige der Folgenglieder durch Zufallszahlen, wird die Einsicht in die Baugesetze der Folge erschwert. Dadurch erhöhen sich die Informationswerte entsprechender Folgenglieder. Ersetzt man z.B. in der betrachteten Folge das 8. und 16. Glied durch Zufallszahlen, erhält man den als gestrichelte Linie gezeichneten Verlauf der subjektiven Information.

Die Differenz Δ der Informationswerte zwischen gestörter und ungestörter Zahlenfolge beträgt für die Gruppe G_2 (schraffierte Fläche in Bild 3) $\Delta (G_2) = 5,57$ bit; für die Gruppe G_3 ergibt sich der Wert $\Delta (G_3) = 4,83$ bit.

III. Vereinfachte Verfahren

Eine Vereinfachung des Rateverfahrens läßt sich erreichen, wenn man bei der Vorhersage auf das Verzweigungsschema verzichtet und der Vp für jedes Zeichen nur einen Vorhersageversuch zubilligt. Bei falscher Voraussage erfährt die Vp vom Versuchsleiter sofort das richtige Zeichen (Weltner 1970 a). Dies Verfahren ist mittels einer Eichkurve an die genauen Messungen der subjektiven Information mit Hilfe von Verzweigungsschemata und Digitalisierung der Vorhersagen angeschlossen. Somit läßt sich aus dem relativen Anteil der falsch vorhergesagten Zeichen sofort die subjektive Information der geratenen Textstichprobe bestimmen.

Bei der Durchführung der Versuche mit Hilfe eines Rechners gibt die Vp jeweils das erwartete Zeichen über die Schreibmaschinentastatur in den Rechner. Zur Kontrolle druckt der Rechner auch jeweils das vorhergesagte Zeichen als Glied einer fortlaufenden Zeichenfolge aus, und zwar bei richtiger Vorhersage in schwarzer und bei falscher Vorhersage in roter Farbe. Für die spätere Auswertung steht damit ein vollständiges Versuchsprotokoll zur Verfügung.

Ein wesentliches Ziel für die Entwicklung von praktikablen Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Information besteht darin, die Durchführung der Versuche zu erleichtern und die Vorhersagegeschwindigkeit zu erhöhen. Dabei liegt es nahe, zu größeren Vorhersageeinheiten wie Silben und Worten überzugehen (Weltner 1970 b).

Mit solchen Einheiten hat bereits Küpfmüller Vorhersageversuche bei der Bestimmung der Redundanz der deutschen Sprache durchgeführt (Küpfmüller 1954).

Der Vorhersagevorgang mit Hilfe von Worteinheiten geschieht dann in der folgenden Weise:

Der Vp sei der Anfang des Textes, dessen subjektive Information bestimmt werden soll, bekannt. Der Text bricht ab und die Vp sagt voraus, welches Wort als wahrscheinliche Fortsetzung des Textes folgen wird. Bei falscher Vorhersage notiert der Vl einen Fehler und nennt das richtige Wort. Auf diese Weise werden die Textstichproben Wort für Wort vorhergesagt. Analog lassen sich Texte silbenweise vorhersagen. Aus dem relativen Anteil der falsch vorhergesagten Wörter (Silben) läßt sich dann - wie beim vereinfachten Verfahren mit Buchstaben als Vorhersageeinheiten - mittels einer Eichkurve die subjektive Information der Textstichprobe bestimmen. Bei diesem Rateverfahren erreicht die Vorhersagegeschwindigkeit etwa 50 bis 60 Zeichen pro Minute. Sie liegt damit nur noch um eine Größenordnung unter der normalen Lesegeschwindigkeit, die ungefähr 1000 Zeichen pro Minute beträgt.

Auch dieses Rateverfahren haben wir mit Hilfe eines Rechners objektiviert. Die Vp gibt hier das jeweils erwartete Wort über die Schreibmaschine in den Rechner. Ist die Vorhersage richtig, druckt dieser das richtige Wort schwarz aus; ist die Vorhersage falsch, druckt er ebenfalls das richtige Wort aus, jedoch in roter Farbe und notiert den Fehler.

Das Entsprechende gilt für Rateversuche mit Silben als Vorhersageeinheiten.

Nach dem vereinfachten Rateverfahren (Vorhersageeinheit: Buchstaben) wurden im WS 1968/69 an der Pädagogischen Hochschule Osnabrück mit Hilfe eines Rechners u.a. folgende Versuche durchgeführt:

a) Bestimmung der semantischen Transinformation bei Gegensatzpaaren und Synonymen.
Ergebnis: Die zu einem vorgegebenen Begriff (Adjektiv) A synonymen oder polaren Begriffe S_j bzw. P_j lassen sich nach steigenden Werten der semantischen Transinformation

$$T(A S_j) = I(S_j) - I(S_j \mid A) \text{ bzw.}$$

$$T(\text{non}A\ P_j) = I(P_j) - I(P_j \mid \text{non } A)$$

in eine Rangreihe bringen (Weltner 1970 a; Rollett 1970). Bei den ranghöchsten Gegensätzen nahm die semantische Transinformation signifikant größere Werte an als bei den ranghöchsten Synonymen.

b) Bestimmung des Informationsverlaufes von Witzen.
Die Pointe eines guten Witzes muß einmal in einem logischen oder assoziativen Zusammenhang mit dem Handlungsschema stehen, der zwar möglich, aber unerwartet ist, zum anderen in einem semantischen oder syntaktischen Zusammenhang, der erst plötzlich evident wird. Aus diesem Grunde tritt für den Ersthörer an der Stelle der Witzpointe eine wesentliche Erhöhung der subjektiven Information auf, während die Information für den Kenner an dieser Stelle stark abfällt (Weltner 1970 b).

IV. Information von Bildmaterial

Die Bestimmung der subjektiven Information von Bildmaterial bereitet größere Schwierigkeiten als die Bestimmung der Information linearer Zeichenfolgen, da beim Bild die Gesamtinformation aller Bildpunkte jeweils simultan vorliegt.

Ein Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Information eines Bildinhaltes beschreibt Frank (Frank 1967). Er stellte den Bildinhalt verbal dar und bestimmte die Transinformation des Bildes auf diese verbale Beschreibung des Bildinhaltes. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist, daß auf diese Weise die subjektive Information des Bildes nur indirekt über Messungen an Texten gewonnen wird und damit keine Aussage über die ästhetische Bildinformation möglich ist.

Attneave versuchte den Informationsinhalt von Bildern zu bestimmen, indem er das Shannonsche Rateverfahren auf farbige bildliche Darstellungen übertrug. Zu diesem Zweck zerlegte er die Bilder in Bildpunkte und ließ dann von der Vp die Farbe der einzelnen Bildpunkte vorhersagen, solange bis der richtige Farbton geraten war (Attneave 1954).

Wir haben versucht, die subjektive Information eines Bildes durch direkte Messung der Information der einzelnen Bildpunkte zu bestimmen. Das Bild wurde zu diesem Zweck durch ein Raster in einzelne Bildpunkte aufgelöst, deren Anzahl relativ gering war, um den Versuchsaufwand nicht zu groß werden zu lassen. Wir haben eine Einteilung in 300 bis 600 schwarze oder weiße Bildpunkte gewählt. Die Versuchsperson, die das Bild zeilen- und punktweise abtastet, hat sich bei jedem Bildpunkt zu entscheiden, ob ihm der Helligkeitswert "schwarz" oder "weiß" zukommt. Aus der Anzahl der dabei gemachten falschen Vorhersagen läßt sich gemäß Formel (1) die subjektive Information des Bildes bestimmen.

Bei der Durchführung der Rateversuche mit Hilfe eines Rechners wählten wir als Symbol für weiße Bildpunkte einen Punkt ("."), als Symbol für schwarze Bildpunkte - aus drucktechnischen Gründen - folgendes Zeichen "xx" . Im Verlaufe des Vorhersageprozesses wurde das im Rechner gespeicherte Bild dann sukzessiv ausgedruckt. Bei falscher Vorhersage druckte der Rechner das entsprechende Symbol für einen schwarzen oder weißen Bildpunkt in roter Farbe aus, sonst in schwarzer. Auf diese Weise läßt sich feststellen, an welchen Stellen des Bildes sich die Fehler häufen, d.h. welche Bildelemente am informationsreichsten sind.

Bild 4 zeigt eine in 551 Bildpunkte zerlegte Darstellung eines Elefanten. Die maximale Information dieses Bildes beträgt bei gleicher Häufigkeit der schwarzen und weißen Bildpunkte I_0 = 551 bit. Aus den relativen Häufigkeiten der schwarzen und weißen Bildpunkte (h_1 (weiß) = 0,392; h_2 (schwarz) = 0,608) ergibt sich bei erfolgter informationeller Akkomodation eine Information von I_1 = 532 bit. Die relative Informationsdifferenz (Redundanz) beträgt auf dieser Betrachtungsstufe R = 3,5 %. Infolge einer Superierung durch Komplexbildung läßt sich der noch sehr hohe Informationswert I_1 weiter absenken.

Gemessen wurde eine subjektive Information von I_{sub} = 163 bit. Die Fehler häuften sich immer an den Umrißlinien (Konturen) und an jenen Stellen, an denen häufige Richtungswechsel vorkamen (vgl. auch Attneave (1954)).

Um zu bestimmen, wie stark sich die Information reduziert, wenn die Vpn den Bildinhalt kennen, haben wir die Transinformationsanalyse durchgeführt: Für die Gruppe, die wußte, daß es sich um die Darstellung eines Elefanten handelte, hatte das Bild eine Information von 156 bit. Die Transinformation T (V B) der verbalen Darstellung V des Bildinhaltes auf das Bild B betrug also nur 7 bit. Da die Information des Begriffs "Elefant" ungefähr 10 bit beträgt, liegt die Transinformation damit in der Größenordnung der subjektiven Information des Bildinhaltes. Auch bei Kenntnis des Bildinhaltes ist noch die Anzahl der Freiheitsgrade der möglichen Darstellung des Bildgegenstandes, d.h. die ästhetische Information des Bildes, groß.

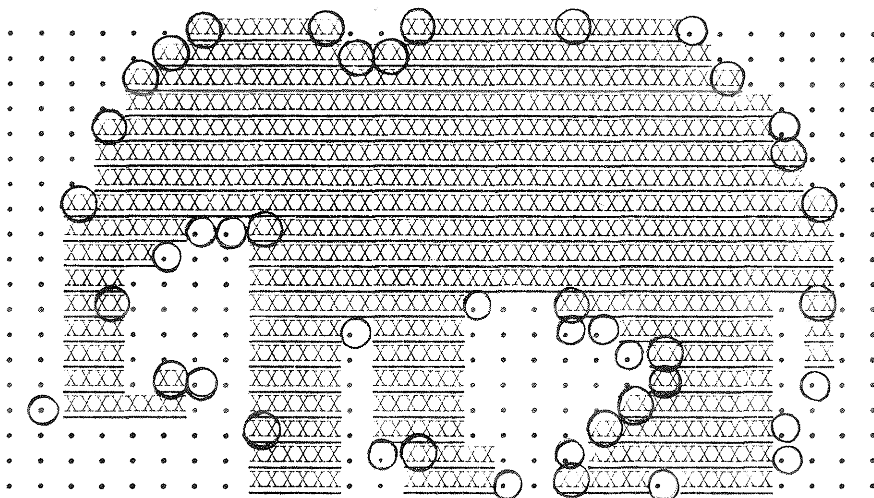


Bild 4: Versuchsblatt einer Vp. Die falschen Vorhersagen sind hier durch Kreise sichtbar gemacht

Ein entsprechendes Ergebnis erhielten wir bei der Bestimmung der subjektiven Information eines Portraitbildes. Das Portraitbild eines Mannes war in 575 schwarze und weiße Bildelemente zerlegt worden. Für die Versuchsgruppe, die nicht wußte, was dargestellt wurde, hatte dies Bild eine Information von I (B) = 315 bit. Die mittlere Information für die Gruppe, welche den Bildinhalt kannte, lag um 14 bit niedriger, also bei I (B|V) = 301 bit.

Aufgrund dieser Ergebnisse untersuchten wir anschließend Bilder mit relativ kleinem Anteil an ästhetischer Information, z.B. Diagramme.

Ein Beispiel zeigt Bild 5. Obwohl die Bildqualität bei 378 Bildpunkten noch sehr schlecht ist, ist die Bildstruktur durchaus erkennbar. Für dieses Diagramm ergaben sich folgende Werte:

Information des Bildes I (B) = 133 bit; Information des Bildes bei Kenntnis des Bildinhaltes I (B|V) = 57 bit; Transinformation T (V B) = 76 bit.

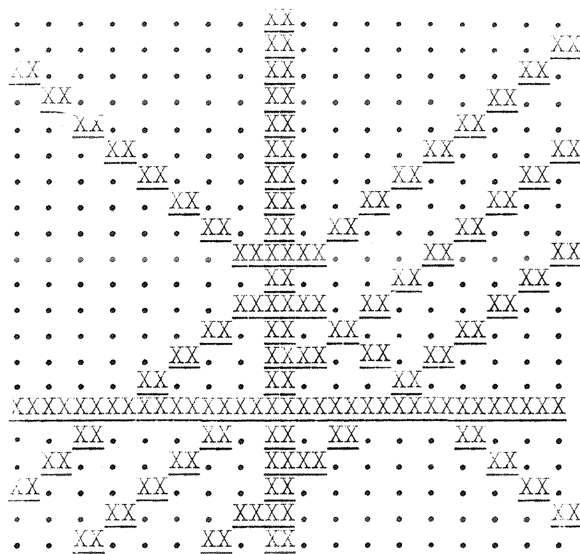


Bild 5: Vorhergesagtes Diagramm

Für ein Diagramm, das komplizierter war - es stellte ein Achsenkreuz mit einer verschobenen Parabel dar, die von einer monoton steigenden Geraden geschnitten wurde - erhielten wir die Werte

$$I(B) = 159 \text{ bit}$$
$$I(B|V) = 95 \text{ bit}$$
$$T(VB) = 64 \text{ bit.}$$

Bei Diagrammen ist also die Differenz der Informationswerte bei Kenntnis bzw. Unkenntnis des dargestellten Inhaltes, d.h. die Transinformation der Beschreibung auf das Bild, stets erheblich größer als bei den anderen untersuchten Bildern und bereits bei einer geringen Anzahl von Vpn signifikant.

Auch bei Diagrammen liegt diese Transinformation in der Größenordnung der Information für die Darstellung des Bildinhaltes: denn die verbale Beschreibung der Diagramme benötigt einen vergleichsweise hohen Informationsaufwand.

In späteren Untersuchungen sollen mit Hilfe von erweiterten Verzweigungsschemata auch farbige Bilder untersucht werden. Ferner soll durch eine Verfeinerung des Rasters die Bildqualität verbessert werden. Das erfordert eine Modifizierung der Vorhersagestrategie: Die Vp braucht sich in diesem Falle bei der Vorhersage des Helligkeitswertes der einzelnen Bildpunkte nicht an ein starres Schema (zeilenweises Vorhersagen) zu halten, sondern kann versuchen, einzelne Bildstrukturen zu erkennen und diese Strukturen innerhalb des Bildes weiterhin zu verfolgen.

V. Ausstattung des Rechners, Vergleich mit dem konventionellen Verfahren

Die modular aufgebaute Zentraleinheit des Nixdorf-Rechners N 820 setzt sich im wesentlichen aus den folgenden 5 Funktionseinheiten zusammen: Makroprogramm-Festspeicher, Mikroprogramm-Festspeicher, Magnetkernspeicher, Recheneinheit und Ein/Ausgabesteuereinheit.

Anstelle des Makroprogramm-Festspeichers stand uns ein Magnetkernspeicher zur Speicherung des Programms zur Verfügung (Monitor-Maschine). Zur alphanumerischen Ein- und Ausgabe diente eine elektrische Kugelkopf-Schreibmaschine mit elektronischer Positionierung.

Für die Durchführung der Rateversuche benutzten wir im wesentlichen einen Magnetkernspeicher, der bei einer Wortlänge von je 12 bit 2048 Befehle (18 bit pro Befehl) oder 6144 alphanumerische Zeichen (6 bit/Zeichen) fassen konnte. Die Speicherkapazität der uns zur Verfügung stehenden Konfiguration war somit relativ klein. Wir haben deshalb im Laufe der Untersuchung ein kombiniertes Verfahren angewandt: Den als Vorgabe für die Vp dienenden Text ließen wir nicht vom Rechner ausdrucken, sondern der Vp auf einem externen Versuchsblatt aushändigen. Im Rechner brauchten dann nur noch die vorherzusagenden Textstellen gespeichert zu werden, die auf dem Versuchsblatt abgedeckt waren.

Für den Einsatz von Kleinrechnern bei Untersuchungen in der Informationspsychologie spricht die Tatsache, daß hierdurch eine mögliche Beeinflussung der Vp durch den Versuchsleiter ausgeschaltet wird, da der vorherzusagende Text im Rechner gespeichert ist und der Rechner in objektiver Weise auf die Vorhersageversuche der Vp reagiert. Hierdurch lassen sich eindeutig reproduzierbare Versuchsbedingungen schaffen. Der Rechner druckt außerdem ein genaues Versuchsprotokoll aus und übernimmt weitgehend die Auswertung der Versuche. Darüber hinaus arbeitet ein Rechner fehlerfrei.

Von Nachteil ist, daß am Rechner nur jeweils eine Vp arbeiten kann. Daher benötigt ein Versuchsprogramm, das bei konventionellem Verfahren 20 simultan arbeitende Zweiergruppen in einer zweistündigen Sitzung bewältigen konnten, eine Versuchszeit von einer Woche und erfordert somit auch mehr Organisationsaufwand.

Bei der von uns verwendeten Konfiguration betragen die Benutzungskosten etwa 20,-- DM pro Rechenstunde. Die Kosten, die beim Einsatz von Versuchsleitern entstehen, liegen in derselben Größenordnung.

Schrifttumsverzeichnis

Attneave, F.	Some informational aspects of visual perception. Psych. Rev. 1954, 61, S. 183-193
Frank, H.	Kybernetische Analysen subjektiver Sachverhalte. Quickborn 1964
Frank, H.	Über den Informationsgehalt von Bildern. GrKG 8/1, 1967, S. 23-31
Küpfmüller, K.	Die Entropie der deutschen Sprache. FTZ 1954, Jg. 7, Heft 6, S. 265-272
Rollett, B.	Untersuchungen zur semantischen Transinformation. In: Rollett, B., Weltner, K. (Hsg.): Perspektiven des Programmierten Unterrichts. Wien 1970
Shannon, C.E.	Prediction and Entropy of printed English. The Bell System Technical Journal. January 1951, S. 50-64
Weltner, K.	Zur empirischen Bestimmung subjektiver Informationswerte von Lehrbuchtexten mit dem Ratetest nach Shannon. GrKG 5/1, 1964, S. 3-11
Weltner, K.	Informationstheorie und Erziehungswissenschaft. Quickborn 1970 a
Weltner, K.	Zur Bestimmung der subjektiven Information. In: Rollett, B., Weltner, K. (Hsg.): Perspektiven des Programmierten Unterrichts. Wien 1970 b
Weltner, K. Heinrich, P.-B.	Einsatz des Nixdorf-Rechners bei Untersuchungen zur Informationspsychologie. In: Rollett, B., Weltner, K. (Hsg.): Perspektiven des Programmierten Unterrichts. Wien 1970

Eingegangen am 20. Dezember 1969

Anschrift des Verfassers:
Paul-Bernd Heinrich, 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100, Pädagogische Hochschule

INFORMATIONSPSYCHOLOGISCHE ASPEKTE DER RECHTSCHREIBUNG

von Hermann Peter Pomm, Hilders

1. Problemstellung

Leistungen des Sprechens und des Sprachverstehens, der Sprache allgemein, lassen sich einer informationstheoretischen Analyse unterziehen (G. A. Miller, Zipf, Mandelbrot, Fucks, Frank). Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist die Rechtschreibung als ein Teilaspekt der menschlichen Sprache. Die Rechtschreibleistung eines Schülers ist durch verschiedene Faktoren bedingt: Sie ist abhängig von intellektuellen Faktoren, von der Kenntnis rechtschriftlicher Fakten des Schreibenden, von der Zeit des Schulbesuchs, von subjektiven Beziehungen des Schreibers zu einem Wort, von der Fehlerverlockung eines Wortes aufgrund der Abweichung der Rechtschreibung von einer lautgetreuen Schreibung u.a.m.

Im folgenden wird versucht, die Abhängigkeit der Rechtschreibung eines Wortes von seiner Häufigkeit im Sprachgebrauch, bzw. seinem Rangplatz und von der Zeit des Schulbesuchs mittels informationspsychologischer Parameter darzustellen.

2. Schwierigkeiten der normativen Rechtschreibung

Der Ausdruck Sprache bezeichnet die Fähigkeit des Menschen, sich mit Hilfe lautlicher Zeichen zu verständigen. Die zeitliche Impermanenz phonetischer Zeichen führte zur Entstehung von bildlichen, graphischen oder sonstigen optisch darstellbaren und wahrnehmbaren Zeichen, die den Lautzeichen entsprechen sollten. Schrift versucht, lautliche Zeichen in bildlichen oder graphischen Zeichen darzustellen, insbesondere erstrebt eine Lautschrift, das zeitliche Hintereinander von Lauten in ein räumliches Hintereinander von zugeordneten Buchstaben zu übersetzen. Schrift ist demnach eine Abbildung einer akustischen Struktur, gegeben durch Laute und Wortklänge, auf eine optische Struktur, gegeben durch die Buchstaben und Wortbilder.
Grundvoraussetzung eines Verständnisses eines Zeichens oder eines Zeichengeflechts ist, daß es eine allgemein anerkannte und damit deutbare und verstehbare Form erhält.

Die Schreibweise der Wortbilder ist von der orthographischen Konferenz von 1901 für den deutschen Sprachraum festgelegt worden. "Richtig schreiben" bedeutet also so zu schreiben, wie es die "amtliche Rechtschreibung" fordert. Die Rechtschreibung birgt folgende Schwierigkeiten für den Schüler, der sie erlernen soll:

a) Schwierigkeiten, die begründet sind in der Zuordnung von Laut und Buchstabe, da im Deutschen nicht jedem Lautzeichen nur ein Schriftzeichen entspricht und umgekehrt nicht jedem Buchstaben nur ein Laut.

b). Schwierigkeiten, die begründet sind in der historischen Entwicklung der deutschen Schriftsprache, da für die Festlegung der Schreibung verschiedene Grundsätze - der phonetische, der etymologische, der ästhetische, der analoge, der logische - maßgebend sind (Beinlich: Handbuch des Deutschunterrichts, S. 408ff).

3. Die Durchführung der Versuche

Die Versuche zur Feststellung der Rechtschreibleistung von Schulkindern wurden vom 25.11. bis 30.11.1969 in 9 Klassen der Grund- und Hauptschule Hilders/Rhön durchgeführt. Den Kindern wurden 47 Wörter diktiert, die in einen Lükkentext eingesetzt werden konnten. Die Wörter wurden der Rangliste des deutschen Wortschatzes von Meier entnommen (Meier: Deutsche Sprachstatistik II, S. 111 ff). Meier ordnete Wörter gleicher Häufigkeit alphabetisch und teilte ihnen dann ihren Rangplatz zu. Abweichend von diesem Verfahren wurden die Wörter für den Versuch aus der Menge der Wörter gleicher Häufigkeit ausgelost. Die Diktate brachten in den einzelnen Schulklassen die in Tabelle 1 aufgeführten Ergebnisse, angegeben in Prozent der Richtigschreibung.

4. Schwierigkeitsgrad, Leichtigkeitsgrad und Worthäufigkeit

Wird einer Schulklasse ein Text mit einem bestimmten Repertoire von Wörtern als Diktat gegeben, so dürften manche Wörter falsch, manche richtig geschrieben werden. Der prozentuale Anteil der Richtigschreibungen eines Wortes wird als dessen Leichtigkeitsgrad L, die der Falschschreibungen als Schwierigkeitsgrad S bezeichnet. Dabei gilt: $L + S = 100$. Der Leichtigkeitsgrad L gibt die Möglichkeit, den Informationsbetrag eines Wortes in bezug auf die Rechtschreibung festzulegen:

$$I_{og} = - \mathrm{ld} \frac{L}{100} = - \mathrm{ld} \frac{100 - S}{100} \qquad (1)$$

Die Definition erscheint sinnvoll, da ein Wort, das fehlerlos geschrieben wird, eine orthographische Information $I_{og} = 0$ erhält; ein stets falsch geschriebenes Wort hat dagegen eine unendlich große orthographische Information.

TABELLE 1 Schuljahr / Anzahl der Schüler

Rang	ldr	Wort	1/25	2/27	3/22	4/30	5/23	6/27	7/24	8/16	9/28	Mittel
1	o.ooo	die	8o.o	92.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	97.o
2	1.ooo	der	72.o	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	97.o
3	1.585	und	4o.o	92.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	92.4
4	2.ooo	in	6o.o	66.7	91.o	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	9o.8
5	2.322	zu	4.o	85.2	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	82.8
6	2.585	den	24.o	92.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	85.o
7	2.8o7	das	27.o	96.3	1oo	1oo	1oo	1oo	96.4	1oo	1oo	91.6
8	3.ooo	nicht	o.o	77.8	91.o	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	85.o
1o	3.322	sie	4.o	7o.3	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	85.o
12	3.585	des	o.o	85.2	95.5	1oo	95.5	1oo	95.8	1oo	1oo	85.6
14	3.8o7	mit	64.o	92.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	9o.7
16	4.ooo	daß	o	o	9.1	3.3	6o.8	81.5	1oo	93.8	96.4	37.9
20	4.322	ich	24.o	63.o	95.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	85.6
24	4.585	auch	o	74.o	95.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	85.o
28	4.8o7	wie		55.5	95.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	82.8
32	5.ooo	aber	o	63.o	1oo	1oo	95.5	1oo	1oo	1oo	1oo	79.2
40	5.322	bei	o	66.7	95.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	84.1
48	5.585	sind	o	77.8	86.3	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	84.6
56	5.8o7	diese	o	25.9	77.2	86.8	1oo	96.4	1oo	1oo	1oo	75.1
64	6.ooo	doch	o	63.o	95.5	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	83.8
80	6.322	hier	o	29.6	72.8	63.3	86.9	85.2	95.8	93.8	92.9	68.o
96	6.585	muß	o	25.9	68.2	96.7	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	76.o
112	6.8o7	weil	o	63.o	1oo	96.7	91.2	96.4	1oo	1oo	1oo	77.9
128	7.ooo	ihren	o	11.1	59.1	86.8	95.5	96.4	95.8	1oo	1oo	7o.7
160	7.322	Herrn	o	7o.3	54.3	7o.o	91.3	88.9	91.6	93.8	96.4	66.2
192	7.585	wer	o	7o.3	81.8	9o.o	86.9	88.9	1oo	87.5	92.8	72.9
224	7.8o7	Gott	o	74.o	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	1oo	85.5
256	8.ooo	Hause	o	66.6	86.3	93.3	78.2	44.5	87.4	87.5	75.o	68.o
320	8.322	nein	o	74.o	81.8	1oo	95.5	1oo	1oo	1oo	96.4	82.9
384	8.585	Lebens	o	14.8	18.2	26.6	52.2	48.2	7o.8	75.o	75.o	41.o
448	8.8o7	großer	o	44.4	59.o	9o.o	1oo	96.3	79.1	1oo	1oo	73.8
512	9.ooo	erscheinen	o	55.5	77.2	86.6	95.5	88.9	1oo	1oo	96.4	77.o
640	9.322	Fürsten	o	14.8	68.1	83.3	91.3	88.9	1oo	1oo	71.4	67.o
768	9.585	Antwort	o	11.1	9.1	36.6	6o.8	7o.3	87.4	93.8	92.8	49.5
896	9.8o7	Zeichen	o	18.5	36.4	5o.o	73.9	77.8	87.4	1oo	94.4	58.6
1o24	1o.ooo	besonderen	o	25.9	63.6	93.3	69.5	85.2	79.1	1oo	1oo	68.o
128o	1o.322	Rücken	o	18.5	63.6	96.6	66.5	92.9	1oo	1oo	1oo	72.5
1536	1o.585	weiteres	o	57.o	72.8	9o.o	73.8	96.3	74.9	81.3	92.8	68.8
1792	1o.8o7	bedeutende	o	7.4	22.8	43.3	43.4	63.o	66.7	93.8	78.6	45.o
2o48	11.ooo	vorliegenen	o	o	27.4	3o.o	56.4	74.o	91.6	93.8	1oo	5o.9
256o	11.322	Mauern	o	3.7	36.4	73.3	86.9	1oo	1oo	1oo	1oo	65.8
3072	11.585	ernsten	o	29.7	54.5	6o.o	82.6	74.o	95.8	93.8	1oo	64.4
3584	11.8o7	verteidigen	o	o	4.6	43.3	52.1	77.8	83.3	1oo	57.1	44.6
4096	12.ooo	Vermutung	o	11.1	o	23.3	3o.4	51.8	62.4	62.5	92.8	36.9
5120	12.322	gekauft	o	22.3	59.o	9o.o	1oo	96.3	95.8	93.8	96.4	72.o
6144	12.585	Vorschläge	o	7.4	o	13.3	13.o	29.7	5o.o	5o.o	85.7	27.5
7168	12.8o7	geringerer	o	7.4	4o.o	53.3	65.2	74.o	87.4	62.5	82.2	52.2

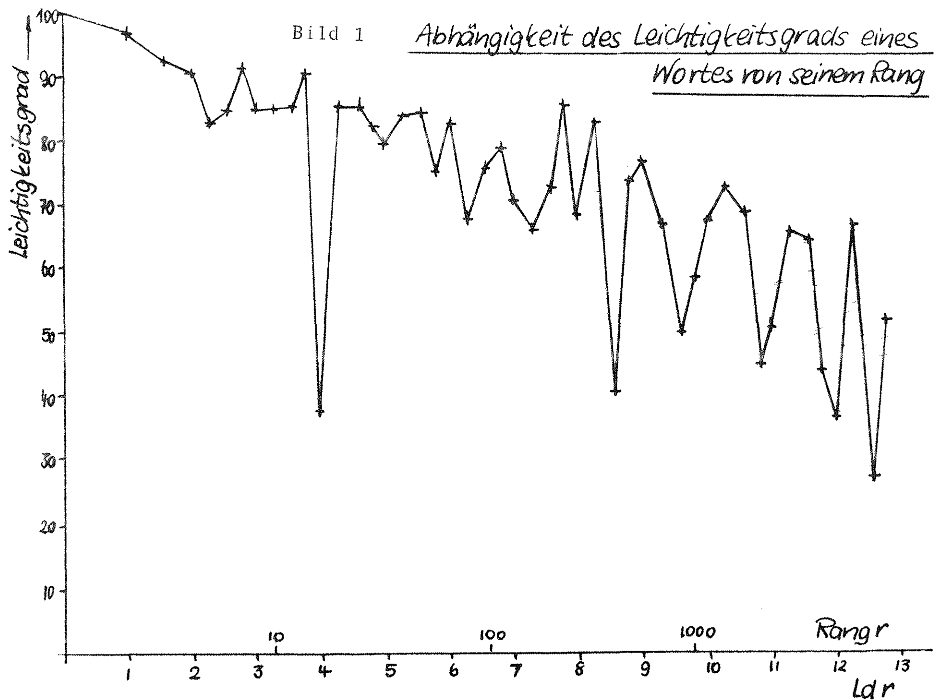


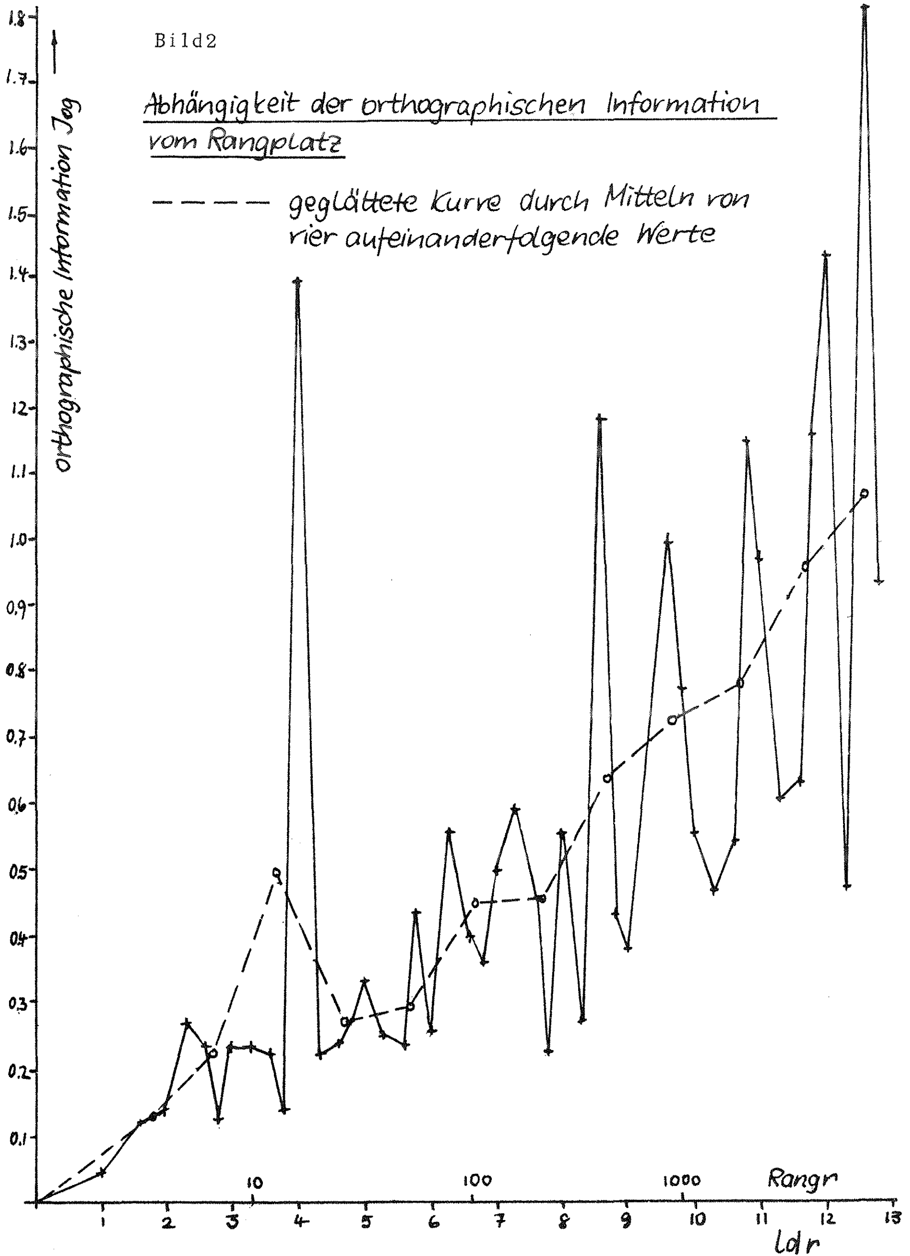
Bild 1

An den experimentellen Ergebnissen (Bild 1) läßt sich folgendes feststellen:

a) Der Leichtigkeitsgrad eines Wortes ist abhängig von seinem Rangplatz, d.h. ein häufig auftretendes Wort wird weniger oft falsch geschrieben als ein selten benutztes: Die orthographische Information wächst mit dem Rangplatz eines Wortes.

(Einen zahlenmäßigen Zusammenhang anzugeben, erscheint wegen der hohen Streuung der Werte - bis 100 % - nicht sinnvoll zu sein.)

b) Die hohe Streuung des Leichtigkeitsgrades und damit der orthographischen Information zeigt, daß diese nicht allein vom Rangplatz des Wortes, sondern noch von anderen Faktoren wie der Fehlerverlockung abhängig ist. Die Wörter "Gott, nein, erscheinen, Rücken, gekauft" besitzen trotz eines relativ hohen Rangplatzes nur eine geringe orthographische Information; sie entsprechen zum Teil einer lauttreuen Schreibung. Die Wörter "daß, Vermutung, Vorschläge" dagegen enthalten aufgrund der Verwechslungsmöglichkeit einzelner Buchstaben eine erhebliche Fehlerverlockung.


Bild2
Abhängigkeit der orthographischen Information vom Rangplatz
– – – – geglättete Kurve durch Mitteln von vier aufeinanderfolgende Werte
orthographische Information Jog
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0,9
0.8
0,7
0,6
0.5
0.4
0,3
0.2
0.1
10
100
1000
Rangr
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
ld r

5. Die Altersabhängigkeit der Rechtschreibleistungen

Schulanfänger können gewöhnlich weder Wörter erlesen noch beherrschen sie die Rechtschreibung. Sollten sie im Rahmen eines Diktats bestimmte Wörter niederschreiben, so werden sie wohl alle Wörter falsch bzw. überhaupt nicht schreiben können. Gäbe man dieses Diktat zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal, so dürften die Schüler, durch die erworbenen Kenntnisse im Lesen und in der Rechtschreibung bedingt, einen Teil der Wörter richtig schreiben. Faßt man den Prozeß des Erlernens der Rechtschreibung als einen "Zerfallsprozeß falscher Wortbilder" auf, so lassen sich folgende Überlegungen anstellen: Durch einen Unterricht in Rechtschreibung bedingt, kann man annehmen, daß die Wahrscheinlichkeit für alle falschen Wortbilder aus dem Wortrepertoire gleich groß ist, um in einem gewissen Zeitraum in ein richtiges Wortbild überführt zu werden.

Damit gilt: Die in der Zeit Δt zerfallenden falschen Wortbilder ΔF sind proportional zur Zahl der falschen Wortbilder F zu Beginn von t

$\frac{\Delta F}{\Delta t} \sim F$. Mit w = const. ergibt sich aus $\frac{\Delta F}{\Delta t} = -wF$ für die

Zahl der falschen Wortbilder F nach T Monaten Schulbesuch durch Integration:

$$F(T) = F(T_0)\, e^{-wT}, \qquad w = \text{const.} \qquad (2)$$

Eine Umrechnung der Anzahl der falschen Wortbilder in den Schwierigkeitsgrad S ergibt:

$$S(T) = 100\, e^{-\omega T}, \qquad \omega = \text{const.} \qquad (3)$$

Für die Zahl der richtigen Wortbilder gilt, da $F + R = F(T_0)$

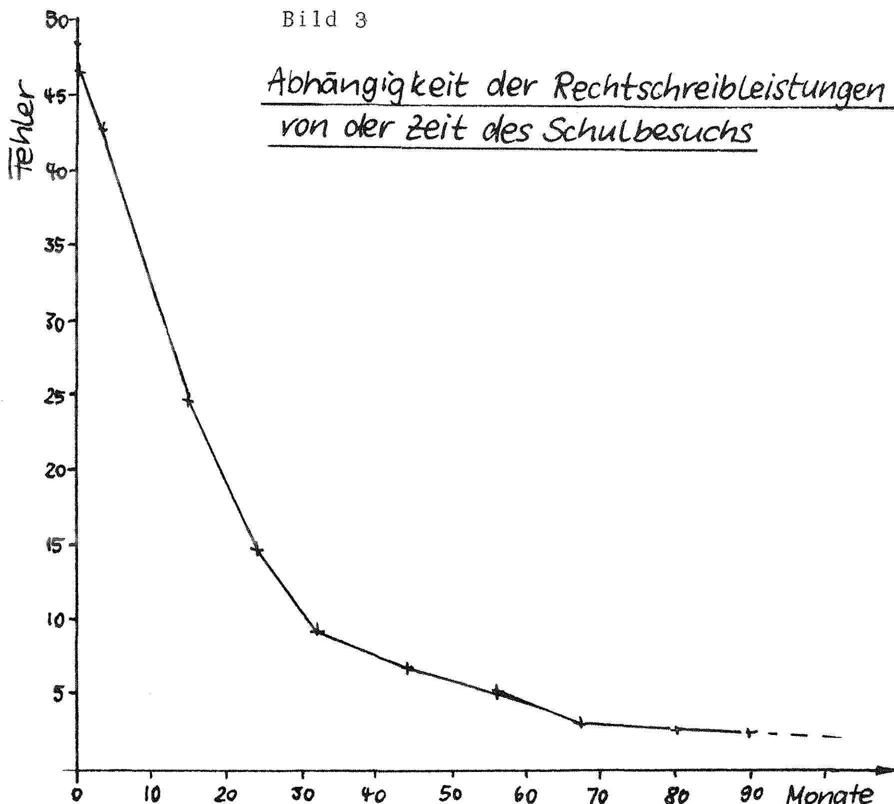
$R(T) = F(T_0)\,(1 - e^{-wT})$, für den Leichtigkeitsgrad $L(T) = 100\,(1 - e^{-\omega T})$ (4)

Eine Berechnung der Zerfallskonstanten nach Gleichung (2) ergibt für die experimentellen Werte, die in Tabelle 2 aufgeführten Zahlen

TABELLE 2 Bestimmung der Zerfallskonstanten

Schuljahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Schulmonate	3	15	24	32	44	56	68	80	92
Fehlerzahl	42.8	24.9	14.6	9.3	6.9	5.4	3.13	2.56	2.32
S in %	91.0	53.0	31.0	19.7	14.7	11.4	6.6	5.4	4.9
L in %	9.0	47.0	69.0	80.3	85.3	88.6	93.3	94.6	95.1
$\omega \cdot 10^{-4}$	419	488	492	438	380	398	364	326	314
Mittel $\bar{\omega}$	0.0459 ± 0.0032 (= 7%)				0.0356 ± 0.0032 (= 8.7%)				

Die graphische Darstellung läßt zwei Phasen der Entwicklung der Rechtschreibleistung erkennen, die durch verschiedene Zerfallskonstanten bestimmt sind: Die 1. Phase umfaßt die Grundschulklassen 1 - 4. Durch den Übergang von Schülern der 4. Grundschulklasse auf weiterführende Schulen findet ein Abfall des intellektuellen Niveaus der Volksschule statt, der sich auch in der Zerfallskonstanten für die Klassen 5 - 9 ausdrückt.



Analog Gleichung (2) wird ein Zerfallsgesetz für die orthographische Information angegeben:

$$I_{og}(T) = I_{og}(T_0)\, e^{-\Omega T}$$

Die orthographische Information für die einzelnen Altersstufen wurden auf folgendem Wege bestimmt. Für jedes Wort des Tests wird der Schwierigkeitsgrad S und daraus die orthographische Information - $I_{og\,exp.}$ - bestimmt. Die Summierung der Werte für alle Wörter ergibt die Gesamtinformation des Wortreper-

toires für jede Altersstufe. Problematisch im allgemeinen ist die Bestimmung von $I_{og}(T_0)$, da nach Definition $I_{og} \rightarrow \infty$ für $S \rightarrow 100$ gilt:

In den Klassen 1, 2, 3 wurden ein Teil der Wörter von allen Kindern falsch geschrieben, die orthographische Information eines solchen Wortes wurde aus ld r bestimmt. Die Gesamtinformation des Wortrepertoires zum Zeitpunkt T_0 berechnet sich aus $I_{og}(T_0) = \sum$ ld r. Mit Ausnahme für den berechneten Wert des 1. Schuljahr werden für die Werte der Grundschulklassen wie für die der Hauptschulklassen Zerfallskonstanten angegeben.

TABELLE 3 Bestimmung der orthographischen Information

Monate	T = o	3	15	24	32	44	56	68	80	92
I_{og}exp.	o	17.38	60.72	31.70	23.55	14.19	10.03	5.51	4.19	3.74
I_{og}err.	329.44	205.69	25.81	24.59	o	o	o	o	o	o
$\sum I_{og}$	329.44	313.07	87.53	56.29	23.55	14.19	10.03	5.51	4.19	3.74
$\omega \cdot 10^{-4}$	--	100	880	733	821	714	621	600	545	486
Mittel $\bar{\omega}$		0,0811 ± 0.0060 ≙ 7.4%				0.0593 ± 0.0077 ≙ 13%				

6. Zusammenfassung

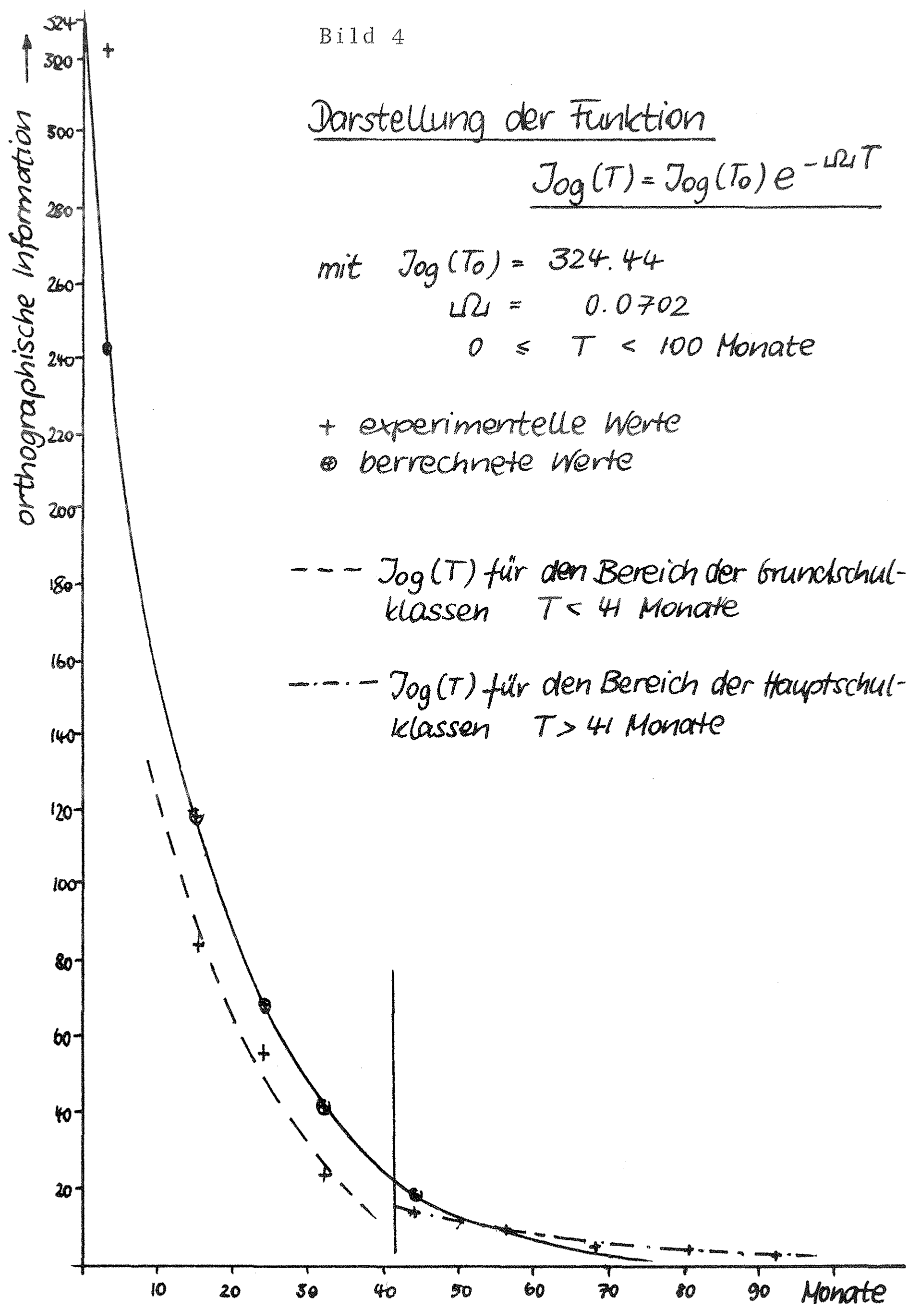
Die vorangegangenen Überlegungen zum Problem der Rechtschreibung brachten folgende Ergebnisse:

1) Die Rechtschreibung eines bestimmten Wortes ist abhängig von der Häufigkeit seines Gebrauchs, bzw. seinem Rangplatz (Korrelation $R = +0,81$ zwischen Rangplatz und Leichtigkeitsgrad).

2) Es ist möglich, den Begriff der Information auf die Rechtschreibung anzuwenden und mittels des Leichtigkeitsgrads den Begriff der orthographischen Information I_{og} zu definieren. Die orthographische Information eines Wortes ist abhängig von seinem Rangplatz.

3) Einen formelmäßigen Zusammenhang zwischen orthographischer Information und Rangplatz anzugeben, ist nicht sinnvoll, da die Werte sehr hoch streuen. Es ist denkbar, daß bei Benutzen einer Rangordnung, aufgestellt nach der Häufigkeitsverteilung der Kindersprache, sich ein solcher Zusammenhang ergibt.

4) Die Rechtschreibung der Wörter muß von den einzelnen Schülern erlernt werden. Dieser Lernprozeß kann dargestellt werden als ein Wachstumsprozeß, wobei für die Grundschule und Hauptschule jeweils verschiedene Wachstumskonstanten gelten.


Bild 4
Darstellung der Funktion
$J_{og}(T) = J_{og}(T_0)\, e^{-\omega_1 T}$
mit $J_{og}(T_0) = 324.44$
$\omega_1 = 0.0702$
$0 \leq T < 100$ Monate
+ experimentelle Werte
⊕ berrechnete Werte
- - - $J_{og}(T)$ für den Bereich der Grundschulklassen T < 41 Monate
-·-·- $J_{og}(T)$ für den Bereich der Hauptschulklassen T > 41 Monate
orthographische Information
324
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Monate

Schrifttumsverzeichnis

Beinlich, Arthur	Handbuch des Deutschunterrichts I, Emsdetten/ Westfalen 1963
Frank, Helmar	Kybernetische Grundlagen der Pädagogik, Agis-Verlag, Baden-Baden 1962
Meier, Helmut	Deutsche Sprachstatistik I/II, Georg Olms Verlag, Hildesheim 1964

Eingegangen am 20. Februar 1970

Anschrift des Verfassers:
Hermann Peter Pomm, 6414 Hilders/Rhön, Heideweg 10

EINIGE ASPEKTE ZUKÜNFTIGER FERNSEHLEHRAUTOMATENSYSTEME

von Horst Richter, Berlin

Gegenüber herkömmlichen Lehrverfahren bietet die Lehrstoffdarbietung mittels Lehrautomaten den Vorteil zweiseitigen Informationsflusses. Der Lehrstoff wird in kleinen Abschnitten, sog. Lehrschritten, dargeboten. Am Ende eines Lehrschrittes werden Fragen gestellt, die der Lernende über ein Adressatenpult zu beantworten hat (aktive Mitarbeit des Lernenden!). Dem Lernenden (Adressaten) wird (z.B. über Lämpchen) das sog. Urteil mitgeteilt, d.h. die Information darüber, ob seine Antwort richtig oder falsch war (unmittelbares Erfolgserlebnis!). Das Lehrprogramm wird bei komplexen Lehrautomaten in Abhängigkeit von der Adressatenreaktion fortgesetzt (zur Terminologie vgl. z.B. Frank, 1969).

Angesichts der Bedeutung, die das Fernsehen im Bereich des Lehrens und Lernens in Zukunft spielen wird, liegen Überlegungen nahe, inwieweit sich Fernsehsysteme schaffen lassen, welche die oben skizzierten Prinzipien ganz oder teilweise berücksichtigen.

Ziel der Schaffung von Fernsehlehrautomatensystemen sollte es sein, den didaktischen Informationsumsatz zu rationalisieren, d.h. schneller und effektiver lernen zu können, als es beim herkömmlichen Bildungsfernsehen der Fall ist und Arbeitszeit von Pädagogen einzusparen.

Da es sich beim Fernsehen um eine Art Parallelinformation handelt (alle Fernsehzuschauer werden gleichzeitig, "parallel", informiert), liegt es nahe, von schon existierenden Parallelschulungsautomaten auszugehen, z.B. vom am Institut für Kybernetik entwickelten Robbimaten (Frank und Kistner, 1965).

Die einfachste Ausbaustufe zeigt Bild 1. Bei diesem "Robbimat 0" (der z.Z. durch die Robbimat-Konfiguration des Baukastensystems BAKKALAUREUS abgelöst wird) besteht eine kreisrelationale Verknüpfung nur zwischen Adressaten und Endplatz. Der Adressat kann aus einer vorgegebenen Menge von Auswahlantworten die ihm richtig erscheinende durch Tastendruck auswählen, das Urteil wird ihm durch Aufleuchten des Richtig- oder Falschlämpchens mitgeteilt. Auf die Fortsetzung des Lehrprogramms hat die Adressatenreaktion hier keinen weiteren Einfluß.

Ein derartiger einfacher Lehrautomat kann, wie Untersuchungen zeigen, erfolgreich eingesetzt werden.

Frank (1967) schlug vor, das in Bild 1 dargestellte Prinzip im Rahmen des Bildungsfernsehens zu realisieren. Statt, wie dort angeregt, das Fernsehbild teilweise abzudecken und die Urteile optisch zu codieren, würde es sich empfehlen, die Urteilscodierung (d. h. die Impulsfolgen, die es ermöglichen, dem Adressaten mitzuteilen, ob seine Reaktion richtig oder falsch war) in den Zeilen unterzubringen, die ein normaler Fernseher sowieso abschneidet (am unteren oder oberen Bildrand), oder im Kanal eines zweiten Tonsenders (dessen Einführung schon mehrfach aus anderen Gründen bei den Sendeanstalten im Gespräch war.) Der erste Fall hätte den Vorteil, daß im Fernsehempfänger lediglich eine einfache Zusatzelektronik zur Abtrennung der Urteilsimpulse erforderlich wäre, der "Normalfernseher" also von der zusätzlichen Urteilsübertragung nichts merken würde.

Auf die Dauer kann aber ein Lehrsystem wie das skizzierte nicht voll befriedigen. Der Adressat könnte sich fragen, welchen Sinn es für ihn hat, Tasten zu drücken, wenn seine Reaktion nicht registriert und nur für das Urteil ausgewertet wird.

Inwieweit lassen sich Fernsehlehrautomatensysteme entwickeln, bei denen eine weitergehende Auswertung und eine Registrierung der Adressatenreaktionen erfolgen kann?

Am Institut für Kybernetik wurde, ausgehend vom Konzept des Robbimat 0, ein stufenweise ausbaufähiger Lehrautomat entwickelt, der in seiner Ausbaustufe Robbimat 3 (Bild 2) als zentrale Steuereinheit einen Kleinrechner Nixdorf N 820 enthält (Richter, 1968; Frank, 1969). Dieser steuert den Lehrprogrammablauf in Abhängigkeit von den Adressatenreaktionen und druckt diese über eine elektrische Schreibmaschine nach jedem Lehrschritt oder am Ende des Lehrprogramms aus. Ob seine Antwort richtig war, erfährt der Adressat auch hier aus dem Aufleuchten von "Richtig-" oder "Falsch"-Lampen.

Eine Steuerung des Lehrprogrammablaufs in Abhängigkeit von den Adressatenreaktionen läßt sich bei Fernsehlehrautomatensystemen heute kaum verwirklichen, denn dann müßte man während der Lehrprogrammdarbietung Leitungen zwischen den Adressaten und der Zentrale schalten. Einer derartigen Beanspruchung wäre das dafür in Frage kommende, für statistische Verteilungen ausgelegte Fernsprechnetz nicht gewachsen. Sinnvoller wäre es, die Reaktionen nach jedem Lehrschritt am Adressatenplatz zu speichern (in Speichern der billigen integrierten Schaltkreistechnik) und sie nachts durch einen Zentralrechner abzufragen. In diesem zentralen Rechner wären die Telefonnummern aller zum Fernsehlehrgang angemeldeten Teilnehmer gespeichert, so daß diese in den Nachtstunden

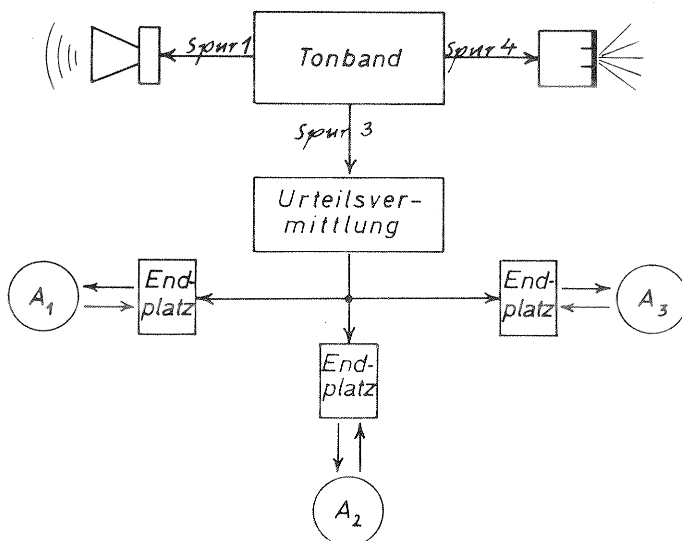


Bild 1: Prinzip von Robbimat O

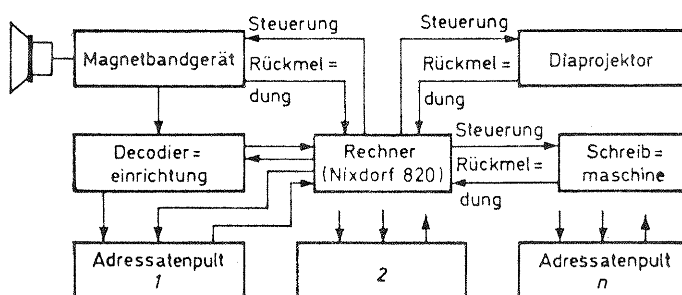


Bild 2: Blockschaltbild eines rechnerunterstützten Lehrautomaten
(Prinzip Bakkalaureus)

Ausbaustufe 3

nacheinander angewählt werden könnten. Ein kleines Zusatzgerät beim Teilnehmer würde für die Übernahme der am Adressatenplatz gespeicherten Daten sorgen und ein Ansprechen des Telefonapparates (Klingel!) verhindern. Der Rechner könnte für jeden einzelnen Teilnehmer eine Datei aufbauen, die Auskunft über seinen Lernerfolg und seine Mitarbeit gäbe. Zwischenprüfungen und das Aufsuchen von Kontaktlehrern könnten so reduziert werden. Teilnehmer mit schlechtem Lernerfolg könnten durch zusätzliche Lehrbriefe gezielt angesprochen werden. Aus den gespeicherten Daten ließen sich auch Rückschlüsse auf die Qualität des jeweiligen Lehrprogramms ziehen.

Hiermit wäre ein erster Ansatz zu einem Sender-Adressaten-Dialogsystem gegeben. Auf gezielte Fragen könnte der Adressat reagieren und seine Reaktion würde spätestens in der darauffolgenden Nacht beim Sender vorliegen. Ein derartiges System würde Anwendungsmöglichkeiten auch außerhalb des Bereichs der kybernetischen Pädagogik eröffnen.

Auch für die Realisierung von Fernseheinzelschulungsautomaten gibt es Lösungsvorschläge. Ein Einzelschulungslehrautomat "bedient" einen einzelnen Adressaten, registriert sein Verhalten und setzt das Lehrprogramm in Abhängigkeit von seiner Reaktion fort. Überträgt man zusätzlich zum Fernsehprogramm die Steuersowie Urteilsimpulse, die man zusammen mit der Bild- und Toninformation auf einem Videorecorder aufnimmt, so kann man diesen Videorecorder in Verbindung mit einem Fernsehgerät und einem Adressatenpult zu einem Einzelschulungslehrautomaten erweitern. Die Fernsehlehrprogramme würden vom Fernsehen (z.B. während der Nachtstunden) zusammen mit allen Steuersignalen ausgestrahlt. Zu Beginn einer jeden Fernsehlehrprogrammsendung würde ein bestimmter Code ausgestrahlt. Am Empfangsort wäre ein einstellbarer Codeempfänger vorhanden, der den Fernsehempfänger und Videorecorder zur Aufnahme genau dann einschaltet, wenn ausgestrahlter Code und am Empfangsort voreingestellter Code übereinstimmen. Die Steuer-, Auswerte-, und Speicherelektronik, die der Videorecorder als zusätzlichen Einschub enthielte, würde ihn bei der Wiedergabe des Lehrprogramms als autonomen Einzelschulungslehrautomaten arbeiten lassen: Das Gerät ließe sich so auslegen, daß es Vor- Rücksprünge und Verzweigungen in Abhängigkeit vom Adressatenverhalten ausführen könnte. Wünscht der Adressat, daß Daten über sein Lernverhalten bei der Zentrale registriert werden, so könnte er nach Durcharbeit des Lehrprogramms über das Telefonnetz einen Zentralrechner anwählen, der die entsprechenden, am Adressatenplatz gespeicherten Daten übernähme.

Die Fernsehsender würden hier also zur Fernprogrammierung autonomer Lehrautomaten dienen, bestehend aus Adressatenpult, erweitertem Heimvideorecorder,

Codeempfänger und erweitertem Fernsehempfänger. Wer sich das Lehrprogramm während der Ausstrahlung durch die Sender anschaute, würde auch alle Verzweigungen mitansehen müssen, das Programm wirkte bei echt verzweigenden Lehrprogrammen unsinnig. Es wäre zu diskutierten, ob man, um zu erreichen, daß ausgestrahlte Lehrprogramme auch bei der Direktbetrachtung sinnvoll wirken, auf solche Verzweigungen verzichten sollte. Der Direktbetrachter erhielte dann ein lineares Lehrprogramm mit mittlerem Informationsfortschritt, derjenige, der es nach Aufnahme auf dem erweiterten Videorecorder durcharbeitete, würde entsprechend seinem Lernerfolg Lehrschritte wiederholen oder überspringen.

Vorstehende Ausführungen sollten aufzeigen, welche Möglichkeiten zur Realisierung von Fernsehlehrautomatensystemen es in naher Zukunft gäbe. Neue Möglichkeiten bietet die Einführung des 12 GHz-Fernsehens und des Kabelfernsehens. Für die Realisierung der vorgeschlagenen Systeme bestehen Konzepte am Institut für Kybernetik, die Besprechung technischer Detaillösungen würde hier zu weit führen.

Es sollte Aufgabe der künftigen bildungstechnischen Forschungszentren sein, sich auch mit derartigen Fragestellungen zu befassen, damit die Programmierte Instruktion bald und in wirksamer Form auch in den Bereich des Fernsehens eindringt. Da in Zukunft der materielle Transport von Information immer mehr zurückgehen wird (drahtlose Verbreitung von Zeitungen, Telefonieren statt Briefeschreiben etc.) und da Videorecorder so selbstverständlich in jedem Haushalt stehen werden, wie heute Tonbandgeräte, sehen wir in der Entwicklung von Fernsehlehrautomatensystemen neue Möglichkeiten zur Bewältigung des didaktischen Informationsumsatzes.

Schrifttumsverzeichnis

Frank, H.; Kistner, R. — Eine Tonbildanlage mit Rückkopplungseinheit In: Praxis und Perspektiven des Programmierten Unterrichts, 1965, Verlag Schnelle

Frank, H. — Über Rückkopplungsmöglichkeiten bei rückwirkungsfreien Systemen der didaktischen Datenfernübertragung. In: GrKG, Band 8, Heft 4 1967

Frank, H. — Kybernetische Grundlagen der Pädagogik 2. Auflage, 1969, Agis-Verlag, Baden-Baden

Richter, H. — Beispiele einfacher Lehrautomaten. In: Funk-Technik, 1968, Heft 15, Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin

Eingegangen am 2. März 1970

Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Ing. Horst Richter, 1 Berlin 46, Gallwitzallee 100

Richtlinien für die Manuskriptabfassung.

Es wird zur Beschleunigung der Publikation gebeten, Beiträge an die Schriftleitung in doppelter Ausfertigung einzureichen. Etwaige Tuschzeichnungen oder Photos brauchen nur einfach eingereicht zu werden.
Artikel von mehr als 12 Druckseiten Umfang können in der Regel nicht angenommen werden. Unverlangte Manuskripte können nur zurückgesandt werden, wenn Rückporto beiliegt. Es wird gebeten bei nicht in deutscher Sprache verfaßten Manuskripten eine deutsche Zusammenfassung anzufügen und wenn möglich, zur Vermeidung von Druckfehlern, das Manuskript in Proportionalschrift mit Randausgleich als fertige Photodruckvorlage einzusenden.
Die verwendete Literatur ist, nach Autorennamen alphabetisch (verschiedene Werke desselben Autors chronologisch) geordnet, in einem Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Beitrags zusammenzustellen. Die Vornamen der Autoren sind mindestens abgekürzt zu nennen. Bei selbständigen Veröffentlichungen sind Titel, Erscheinungsort und -jahr, womöglich auch Verlag, anzugeben. Zeitschriftenbeiträge werden vermerkt durch Name der Zeitschrift, Band, Seite (z. B. S. 317–324) und Jahr, in dieser Reihenfolge. (Titel der Arbeit kann angeführt werden). Im selben Jahr erschienene Arbeiten desselben Autors werden durch den Zusatz „a“, „b“ etc. ausgezeichnet. Im Text soll grundsätzlich durch Nennung des Autorennamens und des Erscheinungsjahrs des zitierten Werkes (evtl. mit dem Zusatz „a“ etc.), in der Regel aber nicht durch Anführung des ganzen Buchtitels zitiert werden. Wo es sinnvoll ist, sollte bei selbständigen Veröffentlichungen und längeren Zeitschriftenartikeln auch Seitenzahl oder Paragraph genannt werden. Anmerkungen sind zu vermeiden.

Forme des manuscrits.

Pour accélérer la publication les auteurs sont priés, de bien vouloir envoyer les manuscrits en deux exemplaires. Des figures (à l'encre de chine) et des photos, un exemplaire suffit.
En général les manuscrits qui fourniraient plus de 12 pages imprimées ne peuvent être acceptés. Les manuscrits non demandés ne deuvent être rendus que si les frais de retour sont joints. Si les manuscrits ne sont pas écrits en allemand, les auteurs sont priés de bien vouloir ajouter un résumé en allemand et, si possible, pour éviter des fautes d'impression, de fournir le manuscript comme original de l'impression phototechnique, c'est-à-dire tapé avec une machine aux caractères standard et avec marges étroites.
La littérature utilisée doit être citée à la fin de l'article par ordre alphabétique; plusieurs oeuvres du même auteur peuvent être enumérées par ordre chronologique. Le prénom de chaque auteur doit être ajouté, au moins en abrégé. Indiquez le titre, le lieu et l'année de publication, et, si possible, l'éditeur des livres, ou, en cas d'articles de revue, le nom de la révue, le tome, les pages (p.ex. p. 317–324) et l'année, suivant cet ordre; le titre des travaux parus dans de revues peut être mentionné. Les travaux d'un auteur parus la même année sont distingués par «a», «b» etc. Dans le texte on cite le nom de l'auteur, suivi de l'année de l'édition (éventuellement complèté par «a» etc.), mais non pas, en général, le titre de l'ouvrage; si c'est utile on peut ajouter la page ou le paragraphe. Evitez les remarques en bas de pages.

Form of Manuscript.

To speed up publication please send two copies of your paper. From photographs and figures (in indian ink) only one copy is required.
Papers which would cover more than 12 printed pages can normally not be accepted. Manuscripts which have not been asked for by the editor, are only returned if postage is enclosed.
If manuscripts are not written in German, a German summary is requested. If possible these manuscripts should be written as original for phototechnical printing, i. e. typed with proportional types and with straight-line margin.
Papers cited should appear in the Bibliography at the end of the paper in alphabetical order by author, several papers of the same author in chronological order. Give at least the initials of the authors. For books give also the title, the place and year of publication, and, if possible, the publishers. For papers published in periodicals give at least the title of the periodical in the standard international abbreviation, the volume, the pages (e.g. p. 317–324) and the year of publication. (It is useful to add the title of the publication.) When more than one paper of the same author and the same year of publication is cited, the papers are distinguished by a small letter following the year, such as "a", "b" etc. References should be cited in the text by the author's name and the year of publication (if necessary followed by "a" etc.), but generally not with the full title of the paper. It might be useful to mark also the page or paragraphe referred to.